V D U MATEMATIKOS-GAMTOS FAKULTETO LEIDINYS

C 2833

FIZIKOS PRAKTIKOS DARBAI

9824

RED. DOC. DR. P. BRAZDŽIŪNAS

KAUNAS SPAUDĖ KOOP. RAIDĖS SPAUSTUVĖ KAUNE 1938

TURINYS

KLAIDŲ SKAIČIAVIMAS

Pusl.

§ 1. **Matavimų būdai** 9
§ 2. **Matavimų klaidos** 9
§ 3. **Vienkartinių atskaitymų klaidos** 10
§ 4. **Daugkartinių atskaitymų klaidos** 11
§ 5. **Apytikslių skaičių skaičiavimas** 12
1. Aritmetinis būdas klaidoms skaičiuoti 12
2. Analizinis būdas klaidoms skaičiuoti 12

6824

PAMATINIAI MATAVIMAI

§ 6. **Absoliutinė vienetų sistema** 16
§ 7. **Ilgio matavimas** 18
1. Nonijus 19
2. Matuoklė 21
3. Mikrometras 21
4. Sferometras 22
5. Katetometras 24
6. Komparatorius 25
7. Lygis 26
§ 8. **Tūrių matavimas** 26
1. Menzurė 26
2. Pipetė 27
3. Biuretė 28
§ 9. **Laiko matavimas** 28
1. Sekundinė svyruoklė 28
2. Metronomas 29
3. Sekundinis laikrodis 29
§ 10. **Atskaitymai** 30
1. Veidrodiniai atskaitymai 30
2. Veidrodinė skala 31
§ 11. **Svarstyklės** 31
1. Svarstyklių jautrumas 33
2. Svėrimas 35
3. Svėrimo taisyklės 38
4. Pataisos 39

MECHANIKA, SKYSČIAI, DUJOS

Pusl.

§ 12. **Kapiliarų stipino matavimas** 41
§ 13. **Tankis, lyginamasis svoris** 42
1. Piknometras 42
2. Pastovaus tūrio areometras 43
3. Mohr'o - Westphal'io svarstyklės 45
4. Jolly svarstyklės 46
§ 14. **Atwood'o mašina** 49
§ 15. **Standaus kūno pusiausvyra** 52
§ 16. **Inercijos momentas** 53
1. Inercijos momento nustatymas iš sukamųjų svyravimų 54
2. Žiedo inercijos momentas 55
§ 17. **Elastingumas** 56
1. Elastingumo modulio suradimas tempiant 58
2. Elastingumo modulio nustatymas lenkiant 58
3. Dinaminis būdas elastingumo moduliui rasti 60
§ 18. **Trintis** 64
1. Šliaužiančių kūnų trintis 64
2. Riedančių kūnų trintis 66
3. Prony tyrimas 67
§ 19. **Kapiliaringumas** 69
1. Muilo plevelė 70
2. Svarstyklėmis 70
3. Matuojant skysčio pakilimo aukštį 73
4. Lašinant skystį 74
§ 20. **Skysčių klampumas** 75
§ 21. **Boyle'o Mariotte'o dėsnis** 78
§ 22. **Barometras** 80
1. Barometro aukščio pataisos 82
2. Vietos aukščio matavimas su barometru 83
3. Oro slėgimo suradimas hipsometru 84
§ 23. **Dujų ir garų tankis ir molekulinis svoris** 85
1. Absoliutinis oro tankis 86
2. V. Meyer'io būdas garų tankiui rasti 87
§ 24. **Kamertono virpėjimų skaičius** 90
§ 25. **Garso greitis** 92
1. Kundt'o vamzdis 92
2. Virpąs oro stulpas 95
§ 26. **Sonometras** 96

ŠILIMA

§ 27. **Termometras** 98
§ 28. **Termometro pamatinių taškų tikrinimas** 99
1. Nulinio taško tikrinimas 100
2. Šimtinio taško tikrinimas 100

Pusl.

§ 29. **Kūnų skėtimosi koeficientas** 101
1. Skysčių skėtimosi koeficientas 101
2. Dujų tūrio skėtimosi koeficientas 104
3. Dujų termometras 107
§ 30. **Specifinė šilima** 108
1. Kietų kūnų specifinė šilima 109
2. Skysčių specifinė šilima 110
3. Dujų specifinės šilimos; jų santykis 112
§ 31. **Ledo slaptoji skystėjimo šilima** 114
§ 32. **Slaptoji garavimo šilima** 115
1. Skystį garinant 118
2. Skystį virinant 118
§ 33. **Skystėjimo temperatūra** 119
§ 34. **Virimo temperatūros pareinamybė nuo slėgimo** 120
1. Virimo temperatūra didesniems, kaip atmosfera, slėgimams 120
2. Virimo temperatūra mažesniems, kaip atmosfera, slėgimams 121
§ 35. **Šildymo naudos koeficientas** 122
§ 36. **Lyginamoji oro drėgmė** 123
§ 37. **Kalorimetro temperatūrų pataisa** 125
1. I būdas 125
2. II būdas 128

ŠVIESA

§ 38. **Fotometras** 129
§ 39. **Goniometras** 131
1. Kampų matavimas 131
2. Minimum atlenkimo kampas. Lūžio rodiklis 133
§ 40. **Lęšio didžiojo židinio nustatymas** 135
1. Sferometru 135
2. Optikos suolu 136
§ 41. **Optikos prietaisų didinimas. Lęšių sferinė ir chromatinė aberacija** 137
1. Paprastas mikroskopas 138
2. Sudėtinis mikroskopas 139
3. Teleskopo didinimo nustatymas 142
4. Lęšių sferinė ir chromatinė aberacija 143
§ 42. **Spektrai; spektrinė analizė** 144
1. Spektroskopo skalos įvertinimas 146
2. Spektrinė analizė 146
§ 43. **Šviesos poliarizacija. Poliarimetras** 147
§ 44. **Šviesos bangos ilgio nustatymas iš interferencijos. Newton'o žiedai** 150

ELEKTRODINAMIKA

Pusl.

§ 45. **Matuojamieji prietaisai** 153
1. Ampermetrai 153
2. Voltmetrai 155
3. Šuntas 156
§ 46. **Elektrinė varža ir laida** 158
1. Wheatstone'o tiltas varžai matuoti 159
2. Specifinė vielų varža 162
3. Temperatūrinis varžos koeficientas 164
4. Elektrinė skysčių laida 165
§ 47. **Elektros srovės magnetinis laukas** 167
§ 48. **Tangens - galvanometras** 169
1. Elektros srovės jėgos matavimas 171
2. H nustatymas 172
§ 49. **Galvanometras** 173
1. Statinė galvanometro konstanta 173
2. Balistinis galvanometras; jo konstanta 176
§ 50. **Voltametras** 179
§ 51. **Kompensacijos būdas. Potenciometras** 180
1. Elementų potencialų skirtumo matavimas 180
2. Elementų vidaus varžos matavimas potenciometru 183
§ 52. **Termoelektros varomoji jėga** 184
§ 53. **Joule'o šilima** 187
1. Elektros šiliminio ekvivalento nustatymas 187
2. Mechaninis šilimos ekvivalentas 188
3. Elektrinis šildymas 189
4. Garinimo naudos koeficientas 190
5. Metalo ir anglies lempa 191
§ 54. **Kintamoji elektros srovė** 193
1. Kintami potencialų skirtumai ir elektros srovės jėga 194
2. Varža, fazės postūmis 195
3. Kintamos elektros srovės galia 196
§ 55. **Elektromagnetinė indukcija** 199
1. Tarpinės indukcijos nustatymas 201
2. Savųjų indukcijų lyginimas 202
§ 56. **Elektros talpos matavimas de Sauty būdu** 204
§ 57. **Elektroninis arba radijo vamzdelis** 206
1. Diodas 206
2. Triodas 209
Lentelės 212
Dalykų rodiklis 229

Kauno miesto Savivaldybės Vinco Kudirkos SKAITYKLA

* * *

Platesnio fizikos praktikos darbų vadovėlio lietuvių kalba iki šiol neturėjome. Toks vadovėlis labai reikalingas aukštojoje ir vidurinėje mokykloje fiziką besimokinančiai ir fizikos laboratorijoje dirbančiai jaunuomenei. Neturint kur plačiau pasiskaityti apie dirbamus laboratorijoje darbus, sunkiau yra suprasti pačių darbų principus ir jų metodus bei ilgiau tenka gaišti patį darbą bedirbant. Bet kuria svetima kalba tokie vadovėliai ne visiems lengvai prieinami.

Šiam trūkumui prašalinti patiekiame šiuos „Fizikos praktikos darbus“. Nors šie darbai ruošti aukštajai mokyklai, tačiau tarp jų galima rasti nemažai tokių, kurie tiktų ir viduriniosios mokyklos fizikos pratybai.

„Fizikos praktikos darbuose“ aprašyti jau ilgesnį laiką dirbami V. D. U-to fizikos laboratorijose būdingesni mechanikos, šilimos, šviesos bei elektros skyrių darbai. Kiekvieno skyriaus pradžioje duodami tame skyriuje dažniau vartojamų matuojamų prietaisų trumpi aprašymai. Rečiau vartojami prietaisai aprašyti pačiuose darbuose, o pamatiniai, bendri visiems skyriams, kaip prietaisai matuoti ilgiui, tūriui, laikui, masei ir k. aprašyti bendrame pamatinių matavimų skyriuje.

Vadovėlio pradžioje trumpai aptarti matavimų būdai ir klaidos bei išskaičiuotų davinių klaidos. Vispusiškai jas įvertinti yra sunku, ypatingai pradedančiam fizikos laboratorijoje dirbti. Todėl čia ir pasitenkinama tik atsitiktiniųjų klaidų vertinimu, nekreipiant dėmesio į kitokias, k. a. sistemines bei matuojamų aparatų klaidas. Darbo aprašymo pabaigoje duodama klaidoms vertinti formula.

Visai nusistovėjusių terminų ir simbolių neturime. Tas pats fizinis dydis kartais vadinamas bei žymimas labai įvairiai. Iš įvairių terminų ir simbolių teko rinktis tuos, kurie, pasitarus su lietuvių kalbos žinovais, mums atrodė daugiausia tinkami ir vartotini.

„Fizikos praktikos darbus“ ruošė V. D. U-to Fizikos katedros bendradarbiai prof. I. Končius, doc. dr. P. Brazdžiūnas, asistentai priv. doc. dr. A. Puodžiukynas, priv. doc. dr. A. Žvironas, K. Baršauskas ir A. Jucys. Juos redagavo P. Brazdžiūnas.

KLAIDŲ SKAIČIAVIMAS

§ 1. Matavimų būdai

Fizikos matavimų tikslas yra išmatuoti kai kuriuos fizinius dydžius bei surasti tarp jų kiekybinius santykius. Bet kurį dydį išmatuoti reiškia surasti tokį skaičių, kuris parodytų, kiek kartų tos pačios rūšies antras dydis, paimtas vienetu, telpa matuojamame dydyje.

Matavimo būdai yra įvairūs. Dažniausiai jie skirstomi į šias dvi grupes: *tiesioginiai ir netiesioginiai (aplinkiniai)*. Pirmajame atsitikime matuojamieji dydžiai tiesiog lyginami su tos pačios rūšies dydžiais — vienetais. Taip, pvz., matuojame bet kurio stiebo ilgį. Bet dažniau ieškomasis dydis išskaičiuojamas iš kitos rūšies tiesioginiai išmatuotų dydžių. Pvz., ieškodami medžiagos tankio, paprastai matuojame paimtos medžiagos masę ir jos tūrį, ir iš šių davinių išskaičiuojame ieškomąjį tankį. Dažniausiai ieškomieji dydžiai tenka matuoti netiesioginiu būdu.

§ 2. Matavimų klaidos

Bet kurį dydį keletą kartų matuodami, kiekvieną kartą gauname šiek tiek skirtingus davinius. Ir labai stropiai matuodami šiek tiek klystame. Klaidos yra įvairios. Skirstydami jas pagal jų pobūdį, gauname dvi klaidų grupes: *sistemines ir atsitiktines*. Pirmąsias klaidas gauname, kada darbo aparatai yra netikslūs arba klaidingai nustatyti, arba kada pasirenkame klaidingą matavimo būdą. Šios klaidos pasižymi dėsningumu, kuris padeda jas susekti ir prašalinti, prašalinus aparatų trūkumus bei pasirinkus teisingą būdą matuoti, arba tinkamai pataisius išmatuotus davinius.

Antrosios grupės klaidos yra visiškai atsitiktinės. Joms skaičiuoti taikome tikimybių dėsnius. Šie nurodo, kaip iš iš-

matuotų davinių išskaičiuoti ieškomąjį dydį, kad jis kuo mažiausiai būtų suklaidintas atsitiktinių klaidų ir būtų tikimiausias, arčiausiai tikslaus dydžio.

Taigi, laboratorijoje išmatuoti fiziniai dydžiai nėra visai tikslūs, bet tik apytiksliai. Paprastai tariam, kad matuodami sisteminių klaidų nedarome, taigi, kad matuojamieji aparatai ir pasirinktasis matavimo būdas yra teisingi. Tuomet išmatuotus davinius klaidina tik stebėtojo daromos atsitiktinės klaidos. Toliau trumpai nurodoma, kaip reikia įvertinti atskirų atskaitymų atsitiktinę klaidą ir kaip išskaičiuoti ieškomojo dydžio klaidą.

§ 3. Vienkartinių atskaitymų klaidos

Kiekvieną aparato nustatymą bei jo skalų atskaitymą lydi *atsitiktinė klaida*. Jos dydis pareina nuo paties aparato ypatybių ir matuojančio asmens įgudimo tinkamai aparatą nustatyti ir atskaityti. Taip, matuodamas temperatūrą termometru, kurio skala padalinta į 0,1°, šiek tiek termometrus atskaitinėti įpratęs asmuo gali lengvai atskaityti temperatūrą 0,05° tikslumu. Taigi, jis gali tik tvirtinti, kad jo atskaityta temperatūra yra tikrai tam tikram tarpe, pvz., 17,25° — 17,35°, ir kad atskaitydamas jis tegalėjo daugiausia paklysti į vieną bei antrą pusę tik iki 0,05°; žinoma, klaida gali būti ir mažesnė arba gali ir visai jos nebūti, kas jau labai mažai tikima, bet ji jokiu būdu nėra didesnė už 0,05°. Atskaitymo davinys taip užrašomas: $17{,}30^{0} \pm 0{,}05^{0}$. Arba, atskaitinėjant 0,05° mm tikslumo nonijų turinčią matuoklę, galima paklysti vienu brūkšniu į vieną bei antrą pusę, pasirenkant geriausiai sutampantį nonijaus brūkšnį su atitinkamu skalos brūkšniu, t. y. atskaitytas dydis bus klaidingas $\pm$ 0,05 mm.

Dažnai matuojame vadinamu nuliniu būdu, t. y., kada bet kuris stebimas dydis išnyksta, tampa nuliu. Taip, pvz., matuojant Wheatstone'o tilteliu elektrinę varžą reikia panaikinti elektros srovę, bėgančią per tiltelį, arba garsą, girdimą telefonu; sveriant reikia panaikinti svarstyklių atsilenkimą ir gauti tokią svarstyklių pusiausvyros vietą, kokia buvo prieš pradedant sverti. Šiuose atsitikimuose didžiausią atskiro matavimo atsitiktinę klaidą surandame keisdami nulinį nustatymą į abi puses tiek, kad gautųsi labai nedidelis, bet jau galimas stebėti, nulinio nustatymo pakitimas, pvz., kad Wh. tiltelio galvanometras nors ir labai mažai, bet pastebimai atsilenktų, svartyklių rodyklė šiek tiek iškryptų iš pusiausvyros vietos. Tokių abipusių nustatymų skirtumas, padalintas pusiau, ir duoda atsitiktinę atskaitymo klaidą.

Bet kurio atskaitymo didžiausią atsitiktinę klaidą stebėtojas individualiai įvertina pagal matuojamo aparato ypatybes. Be įvertintos klaidos

atskaitymai yra mažai vertingi. Gautų davinių tikslumą vertinant, svarbu žinoti ne pačios klaidos dydis, bet jo santykis su išmatuotu dydžiu.

Atsitiktinę atskaitymo klaidą padalinę iš atskaityto dydžio, gauname *lyginamąją atskaitymo klaidą;* pastaroji padauginta iš 100 duoda *procentinę klaidą.*

Pvz., atskaityta temperatūra $17{,}30^0 \pm 0{,}05^0$; atsitiktinė klaida $\pm 0{,}05^0$; lyginamoji atskaitymo klaida yra $0{,}05 : 17{,}3 \approx 0{,}003$; procentinė klaida $0{,}003 \cdot 100 = 0{,}3\%$.

§ 4. Daugkartinių atskaitymų klaidos

Dažnai matuojamąjį dydį matuojame keletą kartų; tuomet tikimiausioji jo vertė yra atskirų davinių, gautų matuojant, aritmetiškas vidurkis. Tada atskiro matavimo (atskaitymo) atsitiktinė klaida yra lygi aritmetiško vidurkio ir atskaityto davinio skirtumui. Tegu kelis kartus bet kurį dydį matuodami gauname šiuos davinius: A_1, A_2, A_3,... A_n; jų aritmetiškas vidurkis

$$A = \frac{A_1 + A_2 + A_3 + \ldots + A_n}{n};$$

čia n yra atskaitymų skaičius.

Atskirų atskaitymų atsitiktinės klaidos yra:

$$\varepsilon_1 = A - A_1; \quad \varepsilon_2 = A - A_2 \ldots \quad \varepsilon_n = A - A_n.$$

Tegu jų antrųjų laipsnių suma

$$S = \varepsilon_1^2 + \varepsilon_2^2 + \varepsilon_3^2 + \ldots + \varepsilon_n^2.$$

Tada vidutinė atskaitymų klaida

$$\varepsilon = \pm \sqrt{\frac{S}{n-1}}$$

ir vidutinė rezultato (aritmetiško vidurkio) klaida

$$\varepsilon_v = \pm \sqrt{\frac{S}{n(n-1)}}.$$

Vidutinę klaidą padauginę iš 0,674 ($\approx 2/3$), gauname tikimąją klaidą; tai yra skaičius, apie kurį lygiai tikimai galima teigti, kad tikrai padaryta klaida gali būti už jį didesnė arba mažesnė.

Pagaliau atskiri daviniai, iš kurių skaičiuojame aritmetišką vidurkį, gali būti ne visi vienodai patikimi. Į tai atsižvelgiame tuo būdu, kad atskiriems daviniams priskiriame įvairias reikšmes, taigi, skaičiuodami aritmetišką vidurkį atskirus davinius imame vieną, du, tris ir t. t. kartus, atitinkamai imamo davinio reikšmei. Jei atskiri daviniai yra A_1, A_2, ... A_n, jų reikšmės g_1, g_2 ... g_n, tai aritmetiškas vidurkis

$$A = \frac{g_1A_1 + g_2A_2 + g_3A_3 + \ldots + g_nA_n}{g_1 + g_2 + g_3 + \ldots + g_n}.$$

§ 5. Apytikslių skaičių skaičiavimas

1. Aritmetinis būdas klaidoms skaičiuoti

Dažniausiai matuojame ne patį ieškomąjį dydį, bet kitus, nuo kurių jis pareina, kitaip tariant, kurių jis yra funkcija. Tuose atsitikimuose ieškomąjį dydį išskaičiuojame iš formulos. Taip, ieškodami tankio, matuojame masę ir tūrį, specifinės šilimos — masę ir temperatūrą, o ieškomuosius dydžius — tankį ir specifinę šilimą skaičiuojame iš formulių. Todėl pravartu mokėti apytikslius skaičius skaičiuoti. Štai trumpai suglaustos apytikslių skaičių skaičiavimo taisyklės.

1. *Apytikslių skaičių sumos (bei skirtumo) atsitiktinė klaida yra lygi dėmenų (bei turinio ir atėminio) atsitiktinių klaidų sumai.*

Pvz., matuojame temperatūros skirtumą. Pradinė temperatūra $t_1 = 18{,}75^0 \pm 0{,}05^0$, galinė $t_2 = 21{,}30^0 \pm 0{,}05^0$. Jų skirtumas $t_2 - t_1 = 2{,}55^0$ Skirtumo atsitiktinė klaida lygi $0{,}05 + 0{,}05 = 0{,}1$. Taigi $t_2 - t_1 = 2{,}6^0 \pm 0{,}1^0$.

2. *Apytikslio skaičiaus iš tikslaus sandaugos (bei dalmens) atsitiktinė klaida yra lygi dauginamojo (bei dalijamojo) atsitiktinei klaidai, padaugintai (bei padalytai) iš tikslaus skaičiaus.*

Pastaba: apytikslio skaičiaus iš tikslaus sandaugos bei dalmens lyginamoji klaida yra lygi dauginamojo bei dalijamojo lyginamajai klaidai.

Pvz., $(24{,}4 \pm 0{,}4) \cdot 4 = 97{,}6 \pm 1{,}6$. Dauginamojo lygin. kl.: $\frac{0{,}4}{24{,}4} \backsimeq 0{,}016$.

Sandaugos lyg. kl.: $\frac{1{,}6}{97{,}6} \backsimeq 0{,}016$. $(24{,}4 \pm 0{,}4) : 4 = 6{,}1 \pm 0{,}1$.

3. *Apytikslių skaičių sandaugos (bei dalmens) lyginamoji klaida yra lygi dauginamojo ir daugiklio (bei dalijamojo ir daliklio) lyginamųjų klaidų sumai.*

Pvz., $(2{,}1 \pm 0{,}2) \cdot (1{,}2 \pm 0{,}1)$; $2{,}1 \cdot 1{,}2 = 2{,}52$. Dauginamojo ir daugiklio lyginamosios klaidos: $0{,}2 : 2{,}1 \backsimeq 0{,}1$ ir $0{,}1 : 1{,}2 \backsimeq 0{,}1$. Sandaugos atsitiktinė klaida: $2{,}52 \cdot 0{,}2 \backsimeq 0{,}5$. Tokiu būdu, sudauginę gauname: $2{,}5 \pm 0{,}5$.

4. *Apytikslio skaičiaus laipsnio (bei šaknies) lyginamoji klaida yra lygi apytikslio skaičiaus lyginamajai klaidai, padaugintai (bei padalintai) iš laipsnio (bei šaknies) rodiklio.*

Pastaba I. Išskaičiuotame rezultate imame tik tiek skaitmenų, kad priešpaskutinis skaitmuo būtų tikslus, paskutinis — apytikslis (klaidingas). Greta prirašome rezultato atsitiktinę klaidą su $\pm$ ženklu.

Pastaba II. Skaičiuodami imame tinkamą skaitmenų skaičių, atsižvelgdami į klaidos dydį. Permažas skaitmenų skaičius gali žymiai padidinti klaidą, perdidelis gi sunkina patį skaičiavimą.

Pastaba III. Atmesdami nereikalingus skaitmenis laikomės šios taisyklės: jei atmetamas skaitmuo 0—4, tai jį tik nubraukiame; jeigu 5—9, tai prie paskutinio likusio pridedame vienetą.

2. Analizinis būdas klaidoms skaičiuoti

Ieškomasis dydis r yra bet kuri išmatuoto dydžio s funkcija, arba $r = f(s)$. Dydį s matuodami padarome klaidelę $\pm \Delta s$; pastaroji klaidina

apskaitytą iš minėtos funkcijos dydį r. Tegu jo klaida $\pm\Delta r$. Taigi $r\pm\Delta r=f(s\pm\Delta s)$, Δr ir Δs yra nedideli dydžiai. Pastaroji funkcija gali būti išreikšta Taylor'o eilute:

$$r\pm\Delta r=f(s)\pm\Delta s\,\frac{df(s)}{ds}\pm\frac{\Delta s^2}{1.2}\,\frac{d^2f(s)}{ds^2}\pm\dots$$

Δs yra mažas dydis, todėl daug neklysdami, turinčius Δs antram bei aukštesniam laipsny narius, galime atmesti. Iš likusios eilutės dalies atėmę panariui $r=f(s)$, gauname

$$\pm\Delta r\cong\pm\Delta s\,\frac{df(s)}{ds}=\Delta s\,\frac{dr}{ds}.$$

Štai kam lygi rezultato klaida.

Dažniausiai ieškomasis dydis r yra ne vieno, bet kelių išmatuotų dydžių s, t, u, v... funkcija, kitaip tariant, $r=f(s, t, u, v...)$. Pastaruosius matuodami padarome atitinkamai klaideles $\pm\Delta s$, $\pm\Delta t$, $\pm\Delta u$, $\pm\Delta v\dots$; jos kiekviena atskirai klaidina ieškomąjį dydį r. Tegu dydžio r klaidos yra: $\pm\Delta r_1$, $\pm\Delta r_2$, $\pm\Delta r_3$...; jos pareina nuo klaidų $\pm\Delta s$, $\pm\Delta t$, $\pm\Delta u$, $\pm\Delta v$... kiekviena atskirai. Tuomet lygiai kaip aukščiau turėsime:

$$\pm\Delta r_1=\pm\Delta s\,\frac{\partial r}{\partial s};\quad\pm\Delta r_2=\pm\Delta t\,\frac{\partial r}{\partial t};\quad\pm\Delta r_3=\pm\Delta u\,\frac{\partial r}{\partial u}\dots$$

Ieškomojo dydžio r didžiausia galima klaida

$$\pm\Delta r=\pm(\Delta r_1+\Delta r_2+\Delta r_3+\dots)=\pm\left(\Delta s\,\frac{\partial r}{\partial s}+\Delta t\,\frac{\partial r}{\partial t}+\Delta u\,\frac{\partial r}{\partial u}+\dots.\right)$$

Pastaba. *Pažymėto bet kuria raide dydžio klaida yra žymima tąja pat raide su trikampėliu prieš ją. Tokio žymėjimo laikomasi visur ir toliau, nebenurodinėjant atskirai, ką jis reiškia.*

Štai pavyzdys, kaip reikia skaičiuoti klaidą.

Ieškome elektrocheminio vario ekvivalento e; pagal formulą

$$e=\frac{m_2-m_1}{It}\,\frac{\text{g}}{\text{kul}}.$$

Pasveriame vieną voltametro elektrodą. Iš pradžių nustatome svarstyklių nulinę vietą 0,5 skalos padal. tikslumu. Kada apkrautų svarstyklių jautrumas yra 2pad/mg, tai nulinė vieta bus nustatyta $\pm$0,25 mg tikslumu. Taip lygiai tiksliai ir sverdami nustatome nulinę svarstyklių vietą. Taigi, elektrodo masę atsveriame $\pm$0,5 mg tikslumu. $m_1=52.4854\pm0.0005$ g. Antrą kartą elektrodą pasvėrę $m_2=53{,}0448\pm0{,}0005$ g. $m_2-m_1=$ $=53{,}0448-52{,}4854=0{,}5594$ g; atsitiktinė skirtumo klaida: 0,0005 + + 0,0005 $\pm$ 0,001. Taigi, $m_2-m_1=0{,}559\pm0{,}001$ g. Lyginamoji klaida

0,001:0,559 = 0,002. Ampermetro skalos mažiausio padalinimo vertė tegu bus 0,1A; atskaitome 0,2 mažiausio padalinimo tikslumu; tuomet $I = 1{,}00 \pm 0{,}02$A, lyginamoji klaida 0,02:1,0 = 0,02. Laiko pradžią ir galą atskaitome ±5 sek. tikslumu; t=30 min ± 10 sek arba t=1800±10 sek, lyginamoji kl. 10:1800 = 0,005.

Tuomet

$$e = \frac{0{,}5594}{1{,}00.1800} = 0{,}000311 \frac{g}{kul}.$$

Rezultato lyginamoji klaida: 0,002+0,02+0,005 = 0,027 ≅ 0,03.
Rezultato atsitiktinė klaida: 0,00031 . 0,03 = 0,0000093.

Tokiu būdu, $e = 0{,}000311 \pm 0{,}000009 \frac{g}{kul}$.

Analiziniu keliu taip skaičiuojame:

$$e = \frac{m_2 - m_1}{I \cdot t} \frac{g}{kul}, \quad \text{taigi} \quad e = f(m_2, m_1, I, t).$$

Tegu dydžių m_2, m_1, I ir t klaidos yra atitinkamai Δm_2, Δm_1, ΔI, Δt, tuomet

$$\frac{\partial e}{\partial m_2} = \frac{1}{It}; \quad \frac{\partial e}{\partial m_1} = -\frac{1}{It}; \quad \frac{\partial e}{\partial I} = -\frac{m_2 - m_1}{I^2 t} \text{ ir } \frac{\partial e}{\partial t} = -\frac{m_2 - m_1}{It^2}.$$

Didžiausia galima rezultato klaida yra lygi:

$$\pm \left[\frac{\Delta m_2}{It} + \frac{\Delta m_1}{It} + \Delta I \frac{m_2 - m_1}{I^2 t} + \Delta t \frac{m_2 - m_1}{It^2}\right] =$$

$$= \pm \frac{m_2 - m_1}{It}\left[\frac{\Delta m_2 + \Delta m_1}{m_2 - m_1} + \frac{\Delta I}{I} + \frac{\Delta t}{t}\right] = \pm e \left[\frac{\Delta m_2 + \Delta m_1}{m_2 - m_1} + \frac{\Delta I}{I} + \frac{\Delta t}{t}\right]$$

Įstatę aukščiau imtąsias vertes, gauname:

$$\pm 0{,}000311 \left[\frac{0{,}001}{0{,}559} + \frac{0{,}02}{1{,}00} + \frac{10}{1800}\right] \cong$$

$$\pm 0{,}000311\,(0{,}002 + 0{,}02 + 0{,}005) =$$

$$\pm\, 0{,}000311 \,.\, 0{,}027 \cong 0{,}000009.$$

Tokiu būdu, $e = 0{,}000311 \pm 0{,}000009 \frac{g}{kul}$.

Išskaičiuoto rezultato klaidai surasti galime vartoti ir šį būdą. Išskaičiuojame galimus didžiausią ir mažiausią rezultatus. Pirmajame atsitikime įstatome formulon tokias galimas išmatuotų dydžių vertes, kad

skaitiklis įgautų didžiausią, o vardiklis mažiausią vertes, antrajame atsitikime atvirkščiai. Šių dviejų taip gautų rezultatų pusiau padalintas skirtumas ir duoda išskaičiuoto rezultato klaidą.

Taip, pvz., skaičiuodami elektrocheminį ekvivalentą e, gauname didžiausią e_d ir mažiausią e_m :

$$e_d = \frac{0{,}5604}{0{,}98 \cdot 1790} = 0{,}000319$$

$$e_m = \frac{0{,}5584}{1{,}02 \cdot 1810} = 0{,}000302.$$

$$e = \frac{e_d + e_m}{2} \pm \frac{e_d - e_m}{2} = 0{,}000311 \pm 0{,}0000085 \frac{\text{g}}{\text{kul}}.$$

PAMATINIAI MATAVIMAI

§ 6. Absoliutinė vienetų sistema

Vienetų sistemą, kurios pamatiniai vienetai yra ilgio, masės ir laiko vienetai, vadiname absoliutine vienetų sistema. Šioje sistemoje pamatinis ilgio vienetas yra *centimetras* (cm), masės vienetas — *gramas* (g) ir laiko vienetas — *sekundė* (sek). Absoliutinę vienetų sistemą kitaip vadiname centimetro—gramo—sekundės (*C—G—S*) sistema.

Centimetras (cm) *yra 0,01 dalis ilgio tarp dviejų brūkšnių, įbrėžtų pavyzdiniame metre, nuliedintame iš platinos (90%) ir iridžio (10%) lydinio.*

Masės vienetas gramas (g) *yra kūbinio centimetro chemiškai gryno 4°C temperatūros vandens masė.*

Sekundė (sek) *yra* $^1/_{86400}$ *saulės vidutinės paros dalis.*

Visų kitų fizinių dydžių vienetai yra išreiškiami šiais pamatiniais vienetais ir vadinami išvestiniais vienetais. Išvestieji iš kitų vienetai yra funkcija tų vienetų, iš kurių jie išvesti. Taigi, absoliutinėje vienetų sistemoje išvestieji vienetai yra centimetro, gramo ir sekundės funkcija. Jos formą apibrėžia panaudoti jai išvesti dėsniai. Taip, greičio vienetą išreiškiame cm/sec arba [cm sek^{-1}], jėgos vienetą — [g cm sek^{-2}] ir t. t. G, cm ir sek laipsnio rodiklius vadiname reiškiamo dydžio dimensija ilgio, masės ir laiko atžvilgiu.

Štai dažniau vartojamų vienetų apibrėžimai ir jų dimensija.

1. Pamatinis ilgio vienetas yra *centimetras* (cm). Jis jau nusakytas. 10^2 cm = 1 *metras* (m); 10^3 m = 1 *kilometras* (km); 10^{-1} cm = 1 *milimetras* (mm), 10^{-3} mm = 10^{-4} cm = 1 *mikronas* (μ); 10^{-7} cm = 1 *milimikronas* (mμ). 10^{-8} cm = 1 *angstremas* (A). 10^{-11} cm = 1 *iksas* (X).

2. Pamatinis ploto vienetas yra *kvadratinis centimetras* (cm^2). 10^4 cm^2 = 1 *kvadratinis metras* (m^2).

3. Tūrio vienetas yra *kūbinis centimetras* (cm^3). 10^3 cm^3 = 1 *litras* (l); 10^6 cm^3 = 1 *kūb. metras* (m^3).

4. Greičio vienetas yra *centimetras per sekundę* [cm sek^{-1}]; tai yra toks greitis, kuris gaunamas, kada judąs kūnas nueina 1 centimetro kelią per 1 sekundę.

5. Greitėjimo (arba pagreitinimo) vienetas yra *galas* [cm sek^{-2}], tai yra toks greitėjimas, kuris gaunamas, kada judančio kūno greitis pakinta 1 centimetru per 1 sekundę.

6. Pamatinis jėgos vienetas yra *dina;* tai yra tokia jėga, kuri 1 gramo masę pagreitina 1 centimetru per 1 sekundę. Jos dimensija [g cm sek^{-2}]; 981 dina sudaro 1 *gramo jėgą* (arba svorį) (g); 10^3 g = 1 *kilogramas* (kg); 10^3 kg = 1 *tona* (t).

7. Pamatinis slėgimo vienetas yra *baras* (b). Tai yra 1 dinos slėgimas į 1 kvadratinį centimetrą [din/cm^2]. Jo dimensija [g cm^{-1} sek^{-2}]. 1013253 b = 1033,28 g/cm^2 = 1 *atmosfera* (ata). Technikoje 1 atmosfera (at) vadinama 1 kilogramo jėgos slėgimas į 1 cm^2. Meteorologijoje slėgimo vienetas vartojamas baras = 10^6 din/cm^2. 10^{-3} b = 1 *milibaras* (mb).

8. Pamatinis energijos vienetas yra *ergas* (erg). Tai yra darbas, kurį nudirba vienos dinos jėga vieno centimetro kelyje, kada kelio ir jėgos kryptys sutampa. Jo dimensija yra [g cm^2 sek^{-2}]. 10^7 ergų = 1 *džiaulis* (J) = 1 *vatas-sekundė* (Wsek). 981 . 10^5 ergų = 1 *kilogramas - metras* (kgm); 1 ergas = 2,389 . 10^{-8} m. kalorijų.

9. Per 1 sek atliktą darbą vadiname *galia*. Pamatinis galios vienetas yra tokia galia, kai per 1 sekundę nudirbama 1 ergo darbas (erg/sek). Galios dimensija [g cm^2 sek^{-3}]. 10^7 erg/sek = 1 J/sek = 1 *vatas* (W).

10. Šiliminė energija paprastai matuojama *kalorijomis*. Mažoji kalorija yra šilimos kiekis, reikalingas 1 g vandens masei pašildyti nuo 14,5°C ik 15,5°C. 10^3 mažų kalorijų = 1 didžiajai kalorijai.

11. Pamatinis elektros kiekio vienetas yra *elektrostatinis elektros kiekio vienetas*. Tai yra toks elektros kiekis, kuris sau lygų antrą elektros kiekį, nutolusį 1 cm, veikia 1 dinos jėga. Jo dimensija [$g^{1/2}$ $cm^{3/2}$ sek^{-1}]. 3.10^9 elektrost. el. k. vien. = = 1 *kulonas* (kul). 96450 kul = 1 *faradėjus*.

12. Pamatinis potencialų skirtumo vienetas yra *elektrostatinis potencialų skirtumo vienetas;* tai yra toks potencialų skirtumas, kurį perbėgdamas 1 elektrostatinis elektros kiekio

vienetas nudirba (arba jį perkeliant šį potencialų skirtumą reikia nudirbti) 1 ergo darbą. Potencialų skirtumo dimensija $[g^{1/2}\ cm^{1/2}\ sek^{-1}]$. $^1/_{300}$ dalis elektrostatinio potencialų skirtumo vieneto yra 1 *voltas* (V). 10^3 V sudaro 1 *kilovoltą* (kV).

13. Praktiškas elektros srovės jėgos vienetas yra *amperas* (A). 1 A jėgos elektros srovė gaunama tuomet, kada per grandinės skersinio piūvio plotą per 1 sek perbėga 1 kulono elektros kiekis. 10^{-3} A = 1 *miliamperas* (mA). 10^{-6} A = 1 *mikroamperas* (μA). Elektros srovės jėgos dimensija $[g^{1}/_{2}\ cm^{3}/_{2}\ sek^{-2}]$.

14. Varžos vienetas yra *omas* (Ω). Omas yra 0°C temperatūros gyvojo sidabro stulpelio varža, kai jo ilgis yra 106,3 cm, o skersinio piūvio plotas 1 mm^2.

15. Perbėgdamas bet kurį potecialų skirtumą V elektros kiekis Q nudirba darbą $W=QV$; bet $Q=It$, čia I yra gaunamos Q elektros kiekiui bėgant elektros srovės jėga, t laikas, kurį bėga toji srovė. Tokiu būdu, $W=IVt$.

Jei $Q = 1$ elektrost. el. k. v., $V = 1$ elektrost. pot. sk. v. ir $t = 1$ sek, tai $W = 1$ erg. Praktiškas elektrinio darbo vienetas yra *vatas-sekundė* (Wsek). Tokį darbą nudirba bėgdama 1 sek laidu 1 A jėgos elektros srovė, kada laido galuose potencialų skirtumas yra lygus 1 V.

1 Wsek = 10^7 erg = 1 J. $3{,}6 \cdot 10^6$ Wsek = 1 *kilovatas-valanda* (kWh).

Čia duoti dažniausiai vartojami vienetai. Kiti reikalingi sutinkamų dydžių vienetai nusakyti pačiame darbo aprašymo tekste.

§ 7. Ilgio matavimas

Dirbant eksperimentinį darbą, tenka atlikti įvairių įvairiausius matavimus. Tačiau tarpe jų vyrauja ilgio matavimai. Daugelį įvairių dydžių išskaičiuojame, išmatavę tam tikrus ilgius. Taip, pvz., slėgimą surandame, išmatavę gyvojo sidabro stulpo aukštį, apie temperatūros kitimą sprendžiame iš gyvojo sidabro gyslelės ilgio pakitimo termometre ir pan.

1. Nonijus

Nonijų naudojame tada, kada norime išmatuoti ne tik sveikais skalos padalinimais, bet ir tų padalinimų dalimis. Nonijus yra papildoma liniuotė, stumdoma pagal pagrindinę skalą (fig. 1). Dešimtosios dalies tikslumu atskaityti gaminamas nonijus, kurio dešimts padalinimų yra lygūs devyniems skalos padalinimams (a), arba kurio 10 padalinimų yra lygūs 11 skalos padalinimų (b). Pirmos rūšies nonijaus padalinimai eina pagal skalos padalinimus, antrosios — prieš tuos padalinimus. Atskaitant tenka stebėti sutampančius nonijaus ir skalos padalinimus. Pvz., (a) ir (b) atsitikime sutampa 5-tasis nonijaus

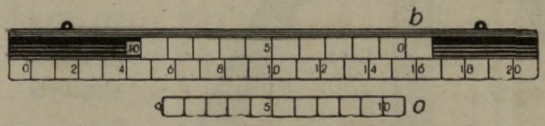

Fig. 1.

padalinimas; tai rodo, jog prie sveiko skaičiaus padalinimų, atskaitytų iš skalos, reikia pridėti 0,5 skalos padalinimų dalis.

Be dešimtainių nonijų yra ir kitokių. Taip, norint išmatuoti pamatinės skalos padalinimo šimtosios dalies tikslumu, tenka gaminti tokį nonijų, kurio 100 padalinimų lygūs 99 pamatinės skalos padalinimams arba 100 padalinimų lygūs 101 pamatinės skalos padalinimų ir t. t. Todėl prieš matuodami turime nustatyti nonijaus padalinimų vertę arba jo tikslumą. Jį įvertiname tokiu būdu. Skalą ir nonijų taip sustumiame, kad jų nuliniai padalinimai sutaptų, ir atskaitome, keli skalos padalinimai atitinka visus nonijaus padalinimus; paprastai (n—1) skalos padalinimų atitinka n nonijaus padalinimų. Tuomet nonijaus tikslumas

$$k = \frac{n-(n-1)}{n} = \frac{1}{n}.$$

Nonijum galime ir kampus matuoti. Toks nonijus tik tuo tesiskiria nuo nusakytojo, kad nonijaus padalinimai yra lanko dalys. Pažymėsim skalos padalinimą atitinkantį laipsnių skaičių $p°$, o nonijaus padalinimų skaičių — n. Tegu šie n nonijaus

padalinimai atitinka (n—1) skalos padalinimą. Tuomet nonijaus tikslumas $k = p°/n$.

Pvz., skalos padalinimo vertė 0,5°, nonijus B turi 30 padalinimų, atitinkančių 29 skalos AA padalinimus (fig. 2). Tuomet

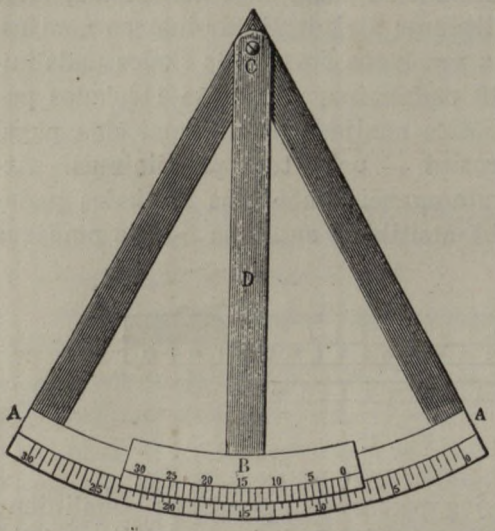

Fig. 2.

$$k = \frac{p°}{n} = \frac{1}{2 \cdot 30} = $$

$$= \left(\frac{1}{60}\right)° = 1'.$$

Paprastai kampinis nonijus turi pažymėtus skaitmenis 0, 10, 20, 30 ir t. t., kurie iš karto leidžia atskaityti jo parodymą.

Norėdami patikrinti sutampančius skalos ir nonijaus brūkšnius, turime stebėti dar ir gretimus brūkšnius. Jie turi būti vienodai nutolę nuo artimiausių skalos padalinimų.

Štai keletas dažniausiai vartojamų nonijų.

Skalos padalinimo vertė	Nonijaus padalinimų skaičius	Nonijaus tikslumas
$(1/2)° = 30'$	30	1′
$(1/3)° = 20'$	20	1′
$(1/4)° = 15'$	45	20″
$(1/12)° = 5'$	60	5″

Išmatuoto, naudojant nonijų, bet kurio ilgio atsitiktinė klaida lygi dvigubam nonijaus tikslumui.

2. Matuoklė

Matuoklė yra tam tikra liniuotė, dažniausiai vartojama tikslesniems matavimams. Fig. 3 rodo, kaip atrodo pati ma-

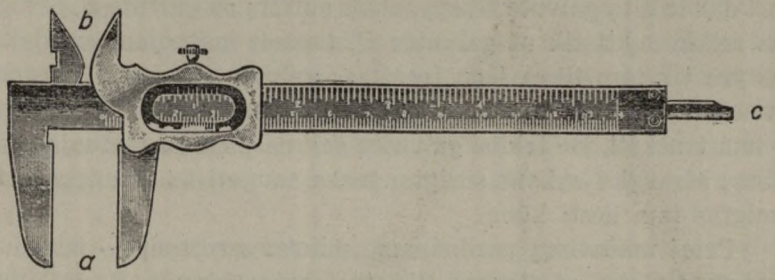

Fig. 3.

tuoklė ir kaip su ja matuojamas storis (a), skylės skersmuo (b) ir gylis (c). Matuoklė leidžia matuoti įvairių braižinių tiesių linijų ilgius. Šiam reikalui jos kojytės pasmailintos. Sraigtu judomąją matuoklės dalį galima priveržti. Nustačius, iš ilgosios skalos atskaitomi sveikieji milimetrai, o atitinkamas sutampąs nonijaus padalinimas nurodo dešimtąsias bei šimtąsias milimetro dalis.

3. Mikrometras

Nedidelius ilgius matuojame mikrometru (fig. 4). Mikrometro pagrindą sudaro veržekly besisukąs sraigtas. Sraigto rintės praktiškai gali būti visai tikslios. Matuojamųjų sraigtų rinties žingsnis būna paprastai 1 arba 0,5 mm, tiek sraigtas pasistumia pirmyn, apsukus jį vieną kartą aplink. Sraigto apsisukimo dalys atskaitomos didoko stipino (radiuso) velene, kurio sujungtas su sraigtu paviršius padalintas į 50, 100 bei 500 dalių.

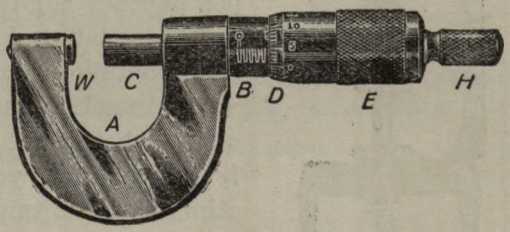

Fig. 4.

Čia aprašomas dažniausiai vartojamas mikrometras. Jį sudaro stipri plieninė apkaba *A* ir sraigtas *C*. Sraigtas turi galvutę *E*, kurios galas *D* padalintas į 50 dalių, kai žingsnis 0,5 mm, ir į 100 dalių, kai žingsnis 1 mm. Sveikus milimetrus (bei puses) atskaitoma iš *B*, o jų dalis iš *D*. Kartais sraigtas turi dar ir kitą galvutę *H*, spyruokle surištą su galvute *E*. Sraigtas reikia sukti tik už galvutės *H*, tuomet matuojamasis daiktas yra tik tam tikra jėga įveržtas; galvutė paprastai sukama pamažėli iki tolei, kolei ji visiškai nebevaro sraigto *C* pirmyn ir ima traškėti. Be tokios galvutės galima pažeisti matuojamąjį kūną; atsargiai sukant sraigtą, tenka saugoti tą akimirką, kai sraigtas ima liesti kūną.

Prieš matavimą patikriname mikrometro nulį — suvedus sraigto galiuką su atrama *W*, turi sutapti skalų *B* ir *D* nuliniai padalinimai. Retai tesutampa: *D* nulis arba neprieina arba pereina *B* nulį; pirmam atsitikime netikslumą atitinkančias milimetro dalis atimame (—); antram atsitikime pridedame (+) prie matavimo parodymų. Paprastai matuojame kelis kartus ir imame aritmetišką vidurkį.

4. Sferometras

Sferometro pamatą sudaro plieninis mikrometrinis sraigtas, kuris sukasi papėdėje įtaisytame veržeklyje. Pati papėdė stovi ant trijų smailų kojų (fig. 5). Viršuje sraigtas turi skritulį su padalinimais pakraštyje. Prie vienos papėdės kojytės pritvirtinta stačia liniuotė, padalinta į centimetrus ir milimetrus. Skritulio briauna beveik siekia ją.

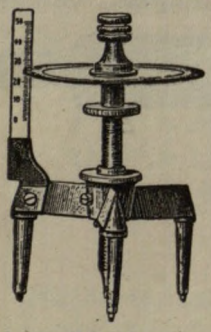

Fig. 5.

Sferometru matuojame ne tik įvairius storius, bet ir rutulių (sferų, iš kur kilęs ir sferometro pavadinimas) kreivumų stipinus. Juo taip matuojame. Pirmiausiai nustatome jo skritulio padalinimų vertę. Tam tikslui apsukame skritulį *n* (pvz., 3) kartų ir stačioje skaloje atskaitome jo pakilimą. Tegu tai bus *m* mm. Vieną kartą apsuktas sraigtas pakyla $h=m/n$ mm. Skritulys turi viso *N* pa-

dalinimų, tuomet jo padalinimo vertė arba sferometro tikslumas

$$k = \frac{h}{N} = \frac{m}{N.n} \text{ mm}.$$

Norėdami išmatuoti bet kurios plokštelės storį, sferometrą pastatome ant lygios plokštumos ir sukame skritulį tol, kol jo smailusis galas tik paliečia ją. Šis palietimas pajaučiamas atsargiai sukant sraigtą ir stebint, kada sferometras nebesirems visomis trimis kojomis į plokštumą. Tai galima pastebėti sekant sraigto smailagalį ir jo atspindį plokštelėje, kada jie susiduria.

Tiksliau sugauti akimirksniui, kuomet sraigto smailagalys paliečia plokštumos ar plokštelės paviršių, geresni sferometrai ant skritulio turi svirtelę. Smailagaliui palietus plokštumą, svirtelė pradeda kilti aukštyn.

Tuomet pažymime, ties kuriuo skalos padalinimu yra skritulio briauna ir kuris skritulio padalinimas sustoja ties skalos briauna. Paskui skritulį tiek išsukame, kad po jo sraigtu padėtos matuojamosios plokštelės paviršius vos liestų sraigto smailagalį. Vėl atskaitome skritulio ir skalos padalinimus. Iš tų dviejų atskaitymų surandame matuojamosios plokštelės storį. Stačiosios skalos atskaitymų skirtumas parodo, kiek sveikų, pvz., a, kartų reikėjo apsukti sraigtą, o skritulio padalinimų skirtumas b duoda sraigto apsukimo dalį b/N. Tuomet plokštelės storis

$$d = h(a + b/N) \text{ mm}.$$

Plokštelės storį matuojame bent keliose vietose ir išskaičiuojame iš visų davinių aritmetišką vidurkį.

Vertinant matavimų atsitiktinę klaidą, reikia nustatyti, kelių skritulio padalinimų tarpe galima tvirtinti, kad smailagalys paliečia plokštumą. Jei toks tarpas lygus ΔN skritulio padalinimų, tai atsitiktinė atskaitymo klaida yra lygi $\pm \Delta N \frac{h}{N}$ mm, o išmatuoto storio klaida $\pm 2\Delta N \frac{h}{N}$ mm.

5. Katetometras

Įvairiose stačiosiose beesančių dviejų taškų *a* ir *b* (fig. 6) aukščių skirtumą galime taip išmatuoti: stačiai pastatome matuojamąją liniuotę, per taškus *a* ir *b* išvedame dvi gulsčias plokštumas, kurios matuojamąją liniuotę perkerta dviejuose taškuose a_1 ir b_1. Tuomet taškų *a* ir *b* aukščių skirtumą atskaitome liniuotėje. Ši mintis įkūnyta katetometre — prietaise nedideliems (iki 1 m) aukščių skirtumams matuoti.

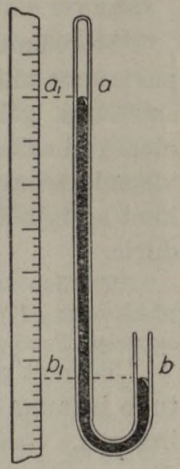

Fig. 6.

Katetometrą sudaro pritvirtinta prie papėdės ir statmena jai metrinė liniuotė *M* (fig. 7). Papėdė turi sraigtus, kurie leidžia ją nustatyti gulščiai, taigi, metrinę liniuotę stačiai. Liniuote slankioja žiūronas *Z*, įdėtas į tam tikrus rėmelius, gulįs ir sukinėjamas statmenoje liniuotei plokštumoje. Pakėlus (arba nuleidus) bei pasukus jį gulsčioje plokštumoje reikalinga kryptim, jį galima į bet kurį tašką taip nustatyti, kad vizuojamasis taškas rastųsi žiūrono siūlų sankryžoje. Pro slankiojančių rėmelių išpiovą matyti metrinės liniuotės padalinimai. Žiūrono aukštį padeda nustatyti nonijus, besirandąs ant slankiojančių rėmelių.

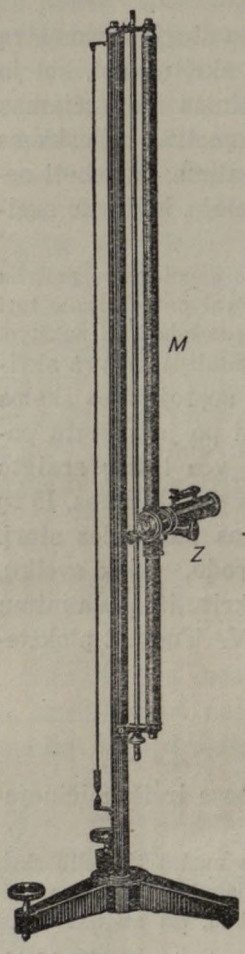

Fig. 7.

Katetometru taip matuojame. Iš pradžių padedame ant papėdės lygį ir, sukinėdami sraigtus, pastarąją nustatome gulsčiai. Tuomet metrinė liniuotė stovi stačiai, o prie jos rėmelių aklai pritvirtintas žiūronas sukasi gulsčioje plokštumoje.

Geresnių katetometrų pats žiūronas turi savo lygius ir sukamus sraigtus jam pakelti ar nuleisti, kuriais galime patikrinti, ar jis tikrai randasi gulsčioje plokštumoje.

Tai padarę, žiūroną nukreipiame į matuojamąjį tašką taip, kad pastarasis atsirastų aiškiai matomoje žiūrono siūlų sankryžoje. Atskaitome žiūrono vietą skaloje. Vėliau žiūroną perstumiam ir pasukame į antrą matuojamąjį tašką ir, tinkamai nustatę, vėl atskaitome. Tų dviejų atskaitymų skirtumas ir yra ieškomasis dydis.

Jei katetometro nonijaus tikslumas yra k, tai išmatuoto aukščio atsitiktinė klaida lygi $\pm 2k$.

6. Komparatorius

Nedideliems ilgiams tiksliau matuoti arba ilgio matų standartams lyginti vartojame komparatorių (lygintoją). Fig. 8 vaizduoja paprasto vieno mikroskopo komparatoriaus viršutinę dalį. Prie masingos papėdės nejudomai pritvirtinti rėmai ir milimetrinė skala AB. Išilgai rėmų slankioja plotmė, kurioje įtvirtinti mikroskopas Z ir nonijus n. Šią plotmę priveržia varžtas k, tuomet ją tepastumia mikrometrinis sraigtas S.

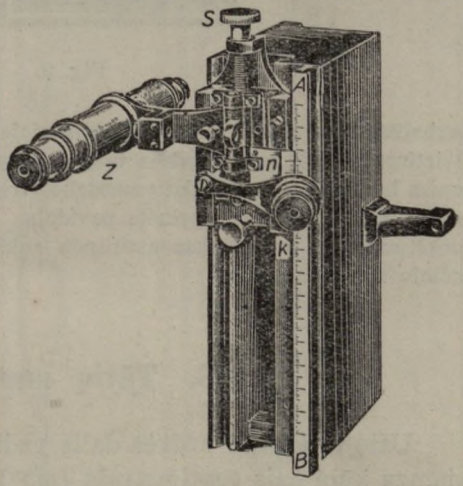

Fig. 8.

Pirmiausiai įvertiname komparatoriaus nonijaus tikslumą. Tai padarę, matuojamą objektą dedame po mikroskopo objektyvu lygiagrečiai papėdei taip, kad objekto galas aiškiai matytųsi pro mikroskopą ir sutaptų su mikroskopo vienu siūlu arba siūlų sankryža. Iš pradžių padedame matuojamąjį objektą taip, kad pradžios taškas būtų mikroskopo matomajame lauke. Priveržę varžtą k, mikrometriniu sraigtu S stumiam plotmę, kol pradžios taškas sutampa su siūlų sankryža. Atskaitome skalos ir nonijaus parodymą. Vėliau atleidžiame varžtą k ir apytiksliai patraukiame plotmę su mikroskopu tiek, kad antras matuojamo objekto galas atsidurtų mikroskopo matomajam

lauke ir paskui, priveržę, mikrometriniu sraigtu stebimą tašką sutapdinam su siūlų sankryža. Vėl atskaitom skalos ir nonijaus parodymą. Abiejų atskaitymų skirtumas duoda matuojamąjį ilgį. Reikia saugoti, kad, stumdant plotmę, nepajudėtų iš vietos matuojamasis objektas.

Jei nonijaus tikslumas k, tai išmatuoto ilgio klaida yra $\pm 2k$, nes nonijų atskaitome du kartu.

7. Lygis

Lygį (fig. 9) vartojame gulsčiai plokštumai patikrinti. Tai yra labai mažai išlenktas stiklinis vamzdelis. Jo viršutinė vidaus dalis sudaro labai didelio stipino apskritimo mažą dalį. Jis pripildomas lakaus skysčio (eterio arba spirito) tiek, kad jame lieka skysčio garų burbuliukas. Šis

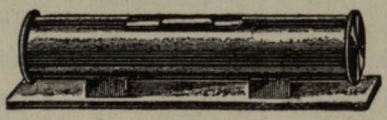

Fig. 9.

burbuliukas visuomet laikosi aukščiausioje vamzdelio dalyje. Vamzdelis įtvirtintas metalinėje dėžutėje taip, kad lygį padėjus ant gulsčios plokštumos burbuliukas nuslenka vamzdelio viršaus vidurin tarp dviejų brūkšnelių. Kiti lygiai turi apskritą pavidalą. Tokį lygį padėjus ant gulsčios plokštumos, jo burbuliukas atsiranda aukščiausioje lygio vietoje, pažymėtoje apskritimu.

§ 8. Tūrių matavimas

Užimtoji kūno erdvės dalis vadinasi jo tūris. Tūris reiškiamas kūbiniais centimetrais (cm^3). 10^3 cm^3 = 1 litras (l).

Lengviausiai matuoti skysčių tūrius, nes skysčiai įgauna bet kurį pavidalą, nekeisdami savo tūrio.

1. Menzurė

Menzurė yra stiklinis cilindrinio pavidalo indas (fig. 10), ant kurio sužymėti padalinimai. Mažesnės menzurės padalintos į cm^3 arba jo dalis, didesnių padalinimai atitinka 2, 5 arba ir

10 cm^3. Sutampąs su įpilto menzurėn matuojamo skysčio paviršium padalinimas rodo pastarojo tūrį. Ant menzurės paprastai pažymima, kokią temperatūrą turi turėti matuojamasis skystis.

2. Pipetė

Mažesni skysčių tūriai matuojami pipete. Tai yra vamzdžio pavidalo, per vidurį šiek tiek išpūstas, indas (fig. 11). Skystis įtraukiamas pipetėn, panėrus jos apatinį galą į jį, ir,

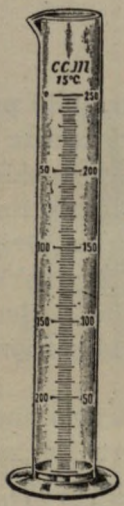

Fig. 10.

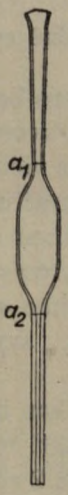

Fig. 11.

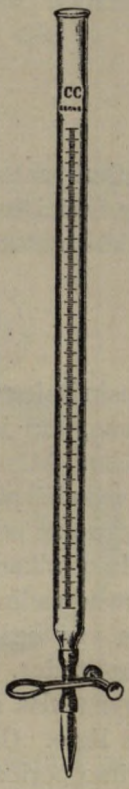

Fig. 12.

kuomet jos viršus užspaudžiamas pirštu, įtrauktas skystis, oro slėgiamas, nebeišbėga iš jos. Viršuje ir apačioje platesnės dalies pipetė turi brūkšnius a_1 ir a_2, tarp kurių telpa tam tikro tūrio skysčio kiekis.

Matuojamoji pipetė padalinta, kaip ir menzurė. Iš jos galima išpilti bet kurį reikalingą skysčio kiekį.

3. Biuretė

Biuretė yra visai panaši į matuojamąją pipetę (fig. 12). Viršutinė jos dalis nėra siauresnė ir apačioje ji turi čiaupą arba guminę žarnelę su spaustuku. Padalinimai rodo, kiek iš jos nubėga skysčio, čiaupą atsukus. Biurete saikoti skystį yra patogiau ir tiksliau, kaip pipete.

§ 9. Laiko matavimas.

Laikui matuoti tinka bet kuris tvarkingai per tam tikrą laiką ir lygiai tuo pačiu būdu pasikartojąs vyksmas. Dažniausiai laikui matuoti naudojame svyruokles.

1. Sekundinė svyruoklė

Apskritai, svyruoklę sudaro bet kuriam taške taip paremtas kūnas, kad jo masės arba svorio centras yra žemiau atramos taško. Atlenkta iš rimties vietos ir paleista svyruoklė svyruoja periodiškai. Iš vienos kraštutinės į antrą kraštutinę padėtį svyruoklė pereina per vadinamą svyravimo laiką. Dvigubas svyravimo laikas vadinasi *svyravimo periodas*. Svyruoklės atsilenkimas vadinamas svyravimo *amplitūda*. Kai atsilenkimo kampas yra nedidelis ($<4°$), svyravimo periodas nepareina nuo amplitūdos.

Svyruoklės svyravimo laikas ir periodas pareina nuo svyruoklės ilgio. Galima pasirinkti tokio ilgio svyruoklę, kad jos svyravimo periodas būtų lygus 2 sek ir svyravimo laikas 1 sek. Tokia svyruoklė vadinama *sekundinė*. Ją dažnai vartojame laikui matuoti. Tokia svyruoklė paprastai aprūpinama skambučiu, kuris suskamba, nukrypus svyruoklei į kraštutines vietas. Tuomet galima sekundes skaičiuoti ir nematant pačios svyruoklės.

2. Metronomas

Iš įvairių laikui matuoti svyruoklių labai dažnai vartojame metronomą (fig. 13). Svarbiausia jo dalis yra nedidelė svyruoklė, kurios viršutine dalim slankioja pasvarėlis; jį stumdant, svyruoklės svyravimo periodas kinta plačiose ribose. Pasvarėlį keliant aukštyn, svyravimas lėtėja, stumiant žemyn — greitėja. Metronomas aprūpinamas skambučiu arba kokiu kitu garsą sukeliančiu įtaisu. Ant svyruoklės stiebo yra padalinimai. Jie parodo, kiek kartų metronomas skambina per minutę, kada pasvarėlis randasi ties jais. Taip, skaičius 132 rodo, kad per minutę metronomas suskambina 132 kartu, reiškia, laiko tarpas tarp dviejų skambučių yra $^{60}/_{132}$=0,45 sek.

3. Sekundinis laikrodis

Sekundinis laikrodis yra šiek tiek pakeistas kišeninis laikrodėlis. Jis turi ilgą sekundinį rodiklėlį ir antrą trumpesnį, kuris rodo minutes (fig. 14). Per 1 minutę sekundinis rodik-

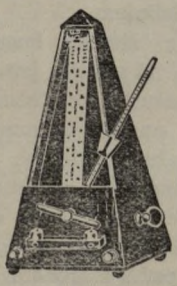

Fig. 13.

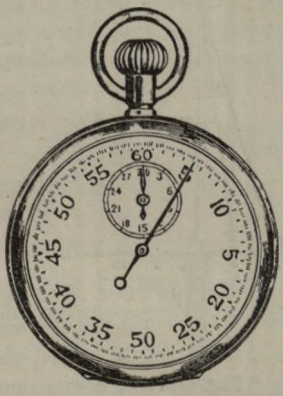

Fig. 14.

lėlis apibėga aplink. Jo skala padalinta į 60 didesnių padalinimų, kurių kiekvienas išdalintas dar į 5 mažesnes dalis. Taigi, laikas galima atskaityti 0,2 sek tikslumu. Trumpojo rodiklėlio skala išdalinta į 30 dalių; per 1 minutę šis rodiklis tepaslenka 1 padalinimu.

Paspaudus laikrodžio galvelę, jis pradeda eiti. Paspaudus antrą kartą, laikrodis nustoja ėjęs, ir rodikliai parodo, kiek

minučių ir sekundžių praėjo, laikrodį paleidus. Trečią kartą galvelę paspaudus, rodiklėliai nušoka į nulines vietas. Paskui vyksmas kartojasi iš naujo. Šios rūšies laikrodžiai vartojami nedideliems laiko tarpams tiksliai išmatuoti.

Laiko tarpo matavimo klaida, vertinant ir mažųjų padalinimų dalis (bent jų puses), tesiekia $\pm$ 0,2 sek.

§ 10. Atskaitymai

1. Veidrodiniai atskaitymai

Nedidelius aparatų dalių pasisukimus, pvz., galvanometro solenoido, taip matuojame čia aprašytu prietaisu (fig. 15). Prie aparato sukamosios dalies yra standžiai prijungtas veidrodėlis *st.* Jo plokštuma yra lygiagretė sukimosi ašiai *a.* 1 arba 2 metrų atstume pastatytas žiūronas *F* ir metrinė skala *mn*, padalinta į milimetrus, kurią galime kilnoti; ją taip padedame, kad ji būtų statmena žiūrono ašiai, o jos vidurys rastųsi einančioje per žiūrono ašį stačioje plokštumoje. Žiūroną ir skalą sutvarkome tokiu būdu, kad žiūrėdami pro žiūroną aiškiai matytume skalos padalinimų atspindį veidrodėlyje ir kad stačiasis žiūrono siūlas sutaptų su vienu skalos padalinimu; kol veidrodėlis nėra pasisukęs, šį siūlą sutapdiname su viduriniu skalos padalinimu.

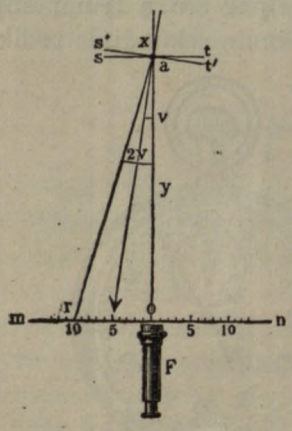

Fig. 15.

Skalos atvaizdą žiūrone lengviausiai gauname šiuo keliu. Iš pradžių įsitikiname, kad veidrodėlio plokštuma yra statmena žiūrono ašiai. Tada, nustatę žiūroną tiesiai į veidrodėlį, pamažu traukiame žiūrono okuliarą, kol gausime aiškų veidrodėlio atvaizdą. Jei žiūronas buvo blogai nukreiptas, tai matysime veidrodėliui gretimas aparato dalis; tai padės žiūrono kryptį pataisyti. Dabar skalą pritvirtiname tokioje vietoje, kad žiūrėdami šalia žiūrono matytume jos atspindį veidrodyje. Paskui pamažu įstumiame žiūrono okuliarą, kol pamatysime žiūrone aiškų skalos padalinimų vaizdą.

Veidrodėliui pasisukus kampu v, su žiūrono siūlu sutaps jau bet kuris r-tas skalos padalinimas, nes pagal atspindžio dėsnį tik einąs iš r-tojo padalinimo spindulys, atsispindęs nuo veidrodžio, pateks į žiūroną. Spindulių ra ir ao kryptys sudarys kampą $2v$. Jei skalos nuotolį nuo veidrodžio pažymėsime y, tai

$$tg2v = \frac{or.}{y}.$$

Dažniausiai matuojami nedideli pasisukimai, todėl apytiksliai $tgv = v$. Tuomet išreikštas radianais pasisukimo kampas

$$v = \frac{or}{2y}.$$

Kai reikalinga tik palyginti keletą pasisukimų tarp savęs, tai y galima ir nematuoti, nes

$$v_1 : v_2 : v_3 \ldots = or_1 : or_2 : or_3 \ldots .$$

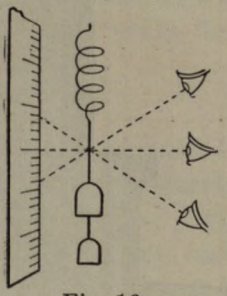

Fig. 16.

Kartais vieton žiūrono galime imti nušviestą plyšelį arba tiesaus siūlo kaitinamąją lemputę. Tada tarp lemputės ir veidrodėlio pastatome tokį lęšį, kad, atsispindus spinduliams nuo veidrodžio, plyšelio vaizdas gautųsi ant skalos. Jei veidrodėlis įgaubtas, tai lęšis nereikalingas. Veidrodėliui pasisukus, šviesos juostelė — „šviesos rodiklėlis" paslenka skala.

2. Veidrodinė skala

Kai negalime matuojamosios skalos visiškai sugretinti su matuojamuoju dydžiu, tuomet naudojame veidrodinę skalą — joj padalinimai išbrėžti pačiame veidrodyje. Šiame atsitikime akį tenka laikyti taip, kad stebimasis taškas ir jo vaizdas veidrodyj sutaptų (fig. 16). Reiškia, jie trys randasi tiesiojoj linijoj; bereik dabar pasižymėti tos linijos kertamąjį padalinimą. Taip stebint išvengiama vadinamojo paralakso: stebimasis skalos padalinimas nepareina nuo akies vietos.

§ 11. Svarstyklės

Svarstyklėmis deriname kūnų mases. Štai trumpas jų aprašymas. Svarstykles sudaro gulsčia lygiapetė svirtis *db* su trimis peiliais, kurių du *d* ir *b* ašmenimis pasukti aukštyn, o *c* pasuktas žemyn (fig. 17). Svirtis peiliu *c* pakabinta ant stataus stovo; stovo statumą rodo svambalas arba lygis; tuo metu svambalo smailagaliai stovi prieš vienas kitą; jei to nėra, tai į vieną ar į kitą pusę sukinėjami sraigtai *NN* nustato ant trijų kojų stovinčios papėdės gulstumą (jos viena koja nejudoma), o tuo pačiu ir svarstyklių stovo svambalo smailagalių rodomą statumą. Svirties atstumai *dc* ir *bc* tarp peilių ašmenų lygūs — svirtis lygiapetė. Prie svirties pritvirtintas rodiklis *R*, duodąs svirties pasvirimo kampus skaloje *S*. Sukant stabdį *A* (aretirą), šakutės *K* ir *K* pakelia svirtį *db* aukštyn nuo peilio *c*, kad jo ašmenys bereikalingai nediltų, o tuo pačiu pakeltos

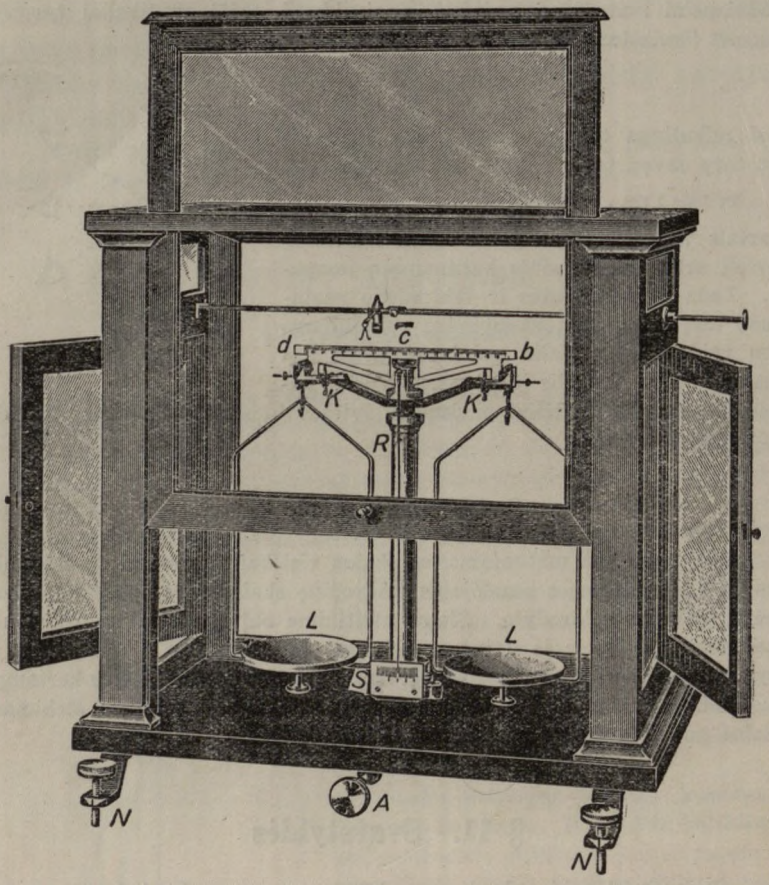

Fig. 17.

aukštyn atsparos pakelia lėkšteles *L* ir *L*, apsaugoti ašmenims *d* ir *b*. Nuo oro srovių ir kitų pašalinių įtakų apsaugoti svarstyklės laikomos stiklinėj spintelėj su pakeliamomis priešakinėmis ir atidaromomis šalutinėmis durelėmis.

Svarstyklės turi būti taip padarytos, kad jos būtų: 1) *tikslios* — antrą kartą sveriamą krovinį turi atsverti ta pati svarelių masė, lygiai taip pat ir perkėlus krovinį iš vienos lėkštelės į kitą; 2) *jautrios* — jautrumas turi būti kiek galima didesnis ir pastovesnis, t. y. neturi labai pereiti nuo krovinio masės didumo ir 3) *pastovios* — svarstyklių pusiausvyra turi būti pastovi ir svyravimo periodas apie šią pusausvyros vietą nelabai ilgas.

Pirmą reikalavimą patenkina kybamų lėkščių ašmenų d ir b lygiagretumas peilio c ašmenims. Kitaip nuo krovinio vietos lėkštelėje pareis tikrieji svarstyklių naščių pečių ilgiai.

1. Svarstyklių jautrumas

Svarstyklių jautrumu vadiname tang. β ir pridedamojo krovinio santykį. Čia β yra tas kampas, kuriuo pasvyra svarstyklių naščių petys arba statusis jų rodiklis, kada į vieną pusiausvarių lėkštelių įdedamas dar krovinys p. Svarstyklių naščių nusvirimo kampas pareina nuo į vieną pusiausvarių svarstyklių lėkštelę pridėto krovinio p masės, svirties pečių ilgio l, naščių svorio centro nuotolio d nuo atramos taško ir nuo naščių svorio Q.

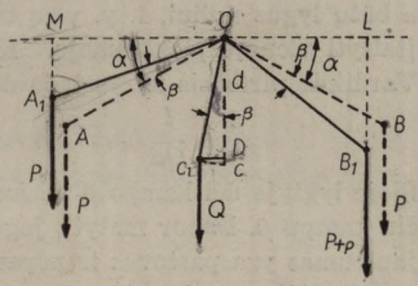

Fig. 18.

Imame įlinkusių naščių svarstykles (bendras atsitikimas); lai įlinkimo kampas yra kampas α, t. y. gulsčios tiesiosios ir bet kurio naščių peties kampas. Vienas petys apkrautas kroviniu P, kitas $P + p$. Kadangi vienos lėkštelės krovinys didesnis už kitos lėkštelės kroviniį kroviniu p, tai svarstyklės pasvirs iš savo pirmykštės vietos AOB ir laikys vietą A_1OB_1 (fig. 18), kuri sudaro su buvusiąja vieta kampą β, ir naščių svorio centras atsvirs iš C į C_1; čia kampas C_1OC, matyti, yra lygus kampui β. Susidariusi pusiausvyra pareina nuo pačių veikiančiųjų jėgų momentų lygybės, arba pusiausvyrai laikytis turi būti lygybė:

$$P \,.\, OM + Q \,.\, C_1D = (P + p) \,.\, LO \quad \ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

Iš fig. 18 aišku, kad:

$$MO = A_1O \cos \angle A_1OM = l \cos (\alpha - \beta),$$

$$C_1D = C_1O \sin \angle C_1OD = d \sin \beta,$$

$$LO = B_1O \cos \angle B_1OL = l \cos (\alpha + \beta).$$

Iš čia (1) lygtis virsta:

$$Pl \cos (\alpha - \beta) + Qd \sin \beta = (P + p)\, l \cos (\alpha + \beta),$$

arba

$$Pl (\cos \alpha \cos \beta + \sin \alpha \sin \beta) + Qd \sin \beta = (P+p)\, l (\cos \alpha \cos \beta - \sin \alpha \sin \beta),$$

Kauno viešoji BIBLIOTEKA A 158017

arba $(2P+p)\ l \sin\alpha \sin\beta + Qd \sin\beta = pl \cos\alpha \cos\beta$,
arba $\sin\beta\ [(2P+p)\ l \sin\alpha + Qd] = pl \cos\alpha \cos\beta$.

Taigi, svarstyklių jautrumą nustato ši lygtis:

$$\frac{\operatorname{tg}\beta}{p} = \frac{l \cos\alpha}{(2P+p)\ l \sin\alpha + Qd} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

Dešiniosios trupmenos vardiklį sudaro du nariai: vienas Qd, kuris pareina tik nuo naščių ypatybės, kitas turi $(2P+p)$ daugiklį, t. y. visą svarstyklių apkrovimą, neišskiriant ir pačių lėkštelių svorio. Kuo didesnis šis apkrovimas, tuo didesnis pirmasis vardiklio narys ir tuo mažesnis jautrumas. Toks jautrumo pamažėjimas, arba, bendrai imant, jautrumo pakitimas daugeliu atžvilgių nepageidaujamas. Dėl to geras svarstykles stengiamasi taip sutvarkyti, kad, kiek tai yra galima, kampas α būtų lygus nuliui, t. y. visų trijų naščių peilių ašmens būtų įtaisyti vienoje plokštumoje. Kai $\alpha=0$, tai $\sin\alpha=0$, $\cos\alpha=1$. Vardiklio pirmasis narys tada dingsta ir (2) lygtis virsta į:

$$\frac{\beta}{p} = \frac{l}{Qd} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3)$$

Šioje lygtyje dėl kampo β mažumo, jo tangensas pakeistas pačiu kampu β. Dabar matyti, jog be naščių įlinkimo svarstyklių jautrumas yra pastovus ir nepareina nuo apkrovimo.

Padidinus apkrovimą 1 mg, pusiausvyros vieta skaloje pasikeičia n padalinimais. Šį dydį paprastai ir vadiname *svarstyklių jautrumu* turimam apkrovimui. Kadangi svarstyklių naščių peilių ašmenys randasi vienoj tiesiojoj, tai, teoriškai galvojant, jautrumas nepareina nuo apkrovimo. Praktikoj ši sąlyga nevisada tėra tiksliai išlaikoma, nes naščių palinkimas pareina nuo apkrovimo, ir jautrumas šiek tiek kinta, kintant apkrovimui.

Jautrumas tiesioginiai proporcingas naščių peties ilgiui l, atvirkščiai proporcingas jų svoriui Q ir svorio centro nuotoliui d nuo atramos taško.

Jautrumui padidinti svarbu padaryti naščius kiek galima lengvesnius. Dėl to jie išpiaustomi ir dirbami iš galimai lengvesnės medžiagos. Tinkamam jautrumui nustatyti vartojamas tam tikras sraigtas, prisuktas prie naščių iš viršaus arba prie jų rodiklio; sukinėjant šį sraigtą, pamažėli kyla arba leidžiasi naščių svorio centras, kinta naščių svorio centro nuotolis d nuo atramos taško.

Įvairiai apkrautų svarstyklių jautrumą taip surandame. Ant abiejų svarstyklių lėkštelių padedame vienodas mases ir iš svyravimų surandame nulinę vietą n'_0. (Kaip tai padaroma ir, bendrai, kaip sveriama svarstyklėmis smulkiai aprašyta tolimesniuose skyreliuose: „svėrimas ir svėrimo taisyklės"). Vėliau vieną lėkštelę perkrauname nedideliu svareliu p, pvz., 2 mg, ir surandame dabar pakitusią svarstyklių nulinę vietą n_1. Pagaliau nuimame perkraunamą svarelį ir patikriname pirmykštę svarstyklių nulinę vietą; ji kartais gali šiek tiek pakitėti; tegu dabar bus n''_0. Tada svarstyklių nulinės vietos pakitimas, jas pakrovus p mg, jei $\frac{n'_0 + n''_0}{2} = n_0$, bus

$$\beta = n_1 - n_0$$

ir svarstyklių jautrumas:

$$\frac{\beta}{p} = \frac{n_1 - n_0}{p} \quad \frac{\text{pad}}{\text{mg}}.$$

Taip nustatome svarstyklių jautrumą, apkrovus jas 0, 1, 10, 20, 40, 70, 100 g. Gautuosius matavimų davinius paprastai surašome į tokią lentelę:

Svarstyklės apkrautos	Svarstyklių nulinė vieta				Nulinės vietos pakitimas $n_1 - n_0$	Jautrumas $\frac{n_1 - n_0}{p}$
	Pirmykštė n'_0	Perkrovus p mg n_1	Nuėmus perkrovimą n''_0	Be perkrovimo $n_0 = \frac{n'_0 + n''_0}{2}$		

Svarstyklių jautrumo kitimą, keičiant jų apkrovimą, galime atvaizduoti grafiškai; vienoje stačiakampių koordinatų ašyje sužymime svarstyklių apkrovimus, antroje — jiems atitinkamus jautrumus ir tarp gautųjų taškų išvedam kreivę taip, kad vienodas taškų skaičius rastųsi abiejose kreivės pusėse.

2. Svėrimas

Bet kurios svarstyklės gali išlaikyti tik tam tikrą apkrovimą. Pakeliamasis svarstyklių apkrovimas paprastai pažymėtas pačiose svarstyklėse — nereikia peržengti nurodytos ribos.

Prieš sverdami taip nustatome svarstykles, kad visų trijų peilių ašmenys būtų gulsčioj plokštumoj. Tai pasiekiame, nu-

statę stačiai svarstyklių stovą: jų papėdė stovi ant trijų kojų — užpakalinė koja pastovaus ilgio, o priešakinės gali būti tam tikrais sraigtais ilginamos bei trumpinamos. Tai daroma tol, kol už stovo prikabintas svambalas atsistoja smailagalys prieš smailagalį.

Nieko nededam į lėkšteles, kolei svarstyklės nėra sustabdytos (aretiruotos).

Skaloje randame tuščių svarstyklių rodiklio rodomą vietą. Skala padalinta į 20 dalių; nulis prie paskutiniojo padalinimo iš kairės, 10 — skalos viduryje. Atleidę stabdį, stebime tuščių svarstyklių svyravimus. Paprastai nelaukiame, kolei svarstyklių svyravimas apsistos, bet stebime tuos svyravimus ir iš svyravimų surandame svarelių ir sveriamojo krovinio masių skirtumą. Atskaitom skalos padalinimus, iki kurių prieina rodiklio galas, svyruodamas į dešinę ir į kairę. Naščiai turi daryti nedidelius svyravimus — turi tik leistis žemyn ir keltis aukštyn, bet anaiptol nesvyruoti į šalis apie atramos taškus, nes taip svyruojant susidaro išcentrinė jėga, kuri keičia ieškomojo taško vietą. Įvertiname dešimtąsias padalinimų dalis ir užrašome. Stebime kelis ištisus svyravimus; lyginį, sakysim, keturis (arba 2) kairėn ir nelyginį — penkis (arba 3) dešinėn, kadangi svyravimų amplitūda visą laiką mažėja. Imame aritmetiškus vidurkius, kiekvienos grupės atskirai (viena kairėn, kita dešinėn). Aritmetiškas vidurkis gautųjų rezultatų ir duoda tikrąją neapkrautų svarstyklių pusiausvyros vietą — n_0.

Pavyzdys: rodiklis pasviro:

dešinėn	kairėn
10,6	9,7
+ 10,5	+ 9,9
10,4	
31,5	19,6
Vidurkis 10,5	Vidurkis 9,8

$$n_0 = \frac{10{,}5 + 9{,}8}{2} = 10{,}15.$$

Toliau į kairiąją lėkštelę dedame sveriamąjį kūną, į dešinę — svarelius: jie turi nors tiek atsverti, kad svyruojančių naščių rodiklis neišeitų iš skalos ribų. Reikia surasti tą svarelių sumą, kuri priverstų naščius sustoti prie n_0 padalinimo. Paprastai tam tikras svarelių skaičius verčia rodiklį apsistoti

vienoje n_0 pusėje, o visų mažiausią svarelį pridėjus, tą vietą nukelia į kitą n_0 pusę. Tame atsitikime iš paprastos proporcijos gauname tą visų mažiausio svarelio dalį, kurią pridėjus pusiausvyros vieta atsiduria prie n_0.

Pavyzdys: $n_0 = 10{,}15$.

1) 34,567 gramų svareliai duoda:

dešinėn	kairėn
13,3	12,1
+ 13,1	+ 12,3
	12,5
26,4	36,9
Vidurkis 13,2	Vidurkis 12,3.

$$n_1 = \frac{13{,}2 + 12{,}3}{2} = 12{,}75.$$

2) 34,569 gramų svareliai duoda:

kairėn	dešinėn
9,2	9,9
+ 9,3	+ 9,5
9,4	
27,9	19,4
Vidurkis 9,3	Vidurkis 9,7

$$n_2 = \frac{9{,}3 + 9{,}7}{2} = 9{,}5.$$

A. *Svarstyklių pusiausvyros vietos pasikeitimas β proporcingas vienos lėkštelės perkrovimui p, kai šis perkrovimas mažas.* Todėl suradus kiek nukrypsta rodiklis, padidinus krovinį mažu svareliu, pvz., 2 mg, proporcijos būdu galima surasti miligramų ir jų dalių skaičių, kuriuos tektų pridėti prie sveriamojo daikto (34,567), kad svarstyklių rodiklis apsistotų pusiausvyros vietoj n_0, paimtame pavyzdyje pas 10,15 padalinimą.

Taip protaujame: jei 2 miligramus atitinka pusiausvyros vietos pasikeitimas 12,75 — 9,5 = 3,25 padalinimų, tai nusvirimų skirtumą

$$12{,}95 - 10{,}15 = 2{,}6$$

atitiks tas miligramų skaičius y, kuriuo skiriasi tikroji masė nuo 34,567 gramų masės. Sudarome proporciją:

$$2 : y = 3{,}25 : 2{,}6,$$

iš čia $y = 1{,}6$ mg arba 0,0016 g.

Taigi, krovinio masė

$$x = 34{,}567 \text{ g} + 0{,}0016 \text{ g} = 34{,}5686 \text{ g}.$$

B. Miligramo dalims pasverti dažnai vartojame pakabinamą ant atitinkamo naščių padalinimo svarelį, vadinamą žiogeliu. Paprastai šis svarelis sveria 10 mg (bei 0,01 g); jis kilnojamas tam tikra svirtim. Bet kuris svarstyklių naščių petys turi 10 padalinimų, o tie padalinimai dar po penkis padalinimus. Padėjus žiogelį ant to naščių peties, į kurio lėkštelę dedami svareliai, sakysim, 5 padalinime, jis veikia naščių petį, kurio ilgis yra tik 0,5; todėl jo veikimas lygus svareliui 0,5 . 0,01 = 0,005 g, padėtam svarstyklių lėkštelėj; gautą gramų dalį tenka pridėti prie lėkštelėj esamų svarelių. Padėjus žiogelį ant to naščių peties, į kurio lėkštelę dedamas sveriamasis kūnas, gautą gramų dalį tenka atimti iš lėkštelėj esamų svarelių. Taip surandame sveikus miligramus. Negavę tinkamos pusiausvyros, dėdami žiogelį ant didesniųjų padalinimų, ieškome jo vietos tarp didesniųjų padalinimų, — tuomet iš smulkesniųjų padalinimų skaičiaus visai tokiu pačiu būdu sprendžiame apie miligramo dešimtąsias dalis.

Patariama žiogelio nevartoti ir miligramo dalis surasti, kaip buvo sakyta, iš svarstyklių svyravimų, taikant interpoliaciją.

3. Svėrimo taisyklės

Sveriant, reikalinga prisilaikyti šių taisyklių:

1. Kolei svarstyklės nesustabdytos (nearetiruotos), negalima dėti į lėkšteles nei krovinių, nei svarelių, nereikia net liesti lėkštelių.
2. Krovinius į svarstykles reikia paprastai taip dėti, kad bendras jų svorio centras būtų kiek galima arčiau lėkštelės vidurio.
3. Svarelių negalima imti rankomis — tik su replėmis; plokščiuosius svarelius (gramo dalis) reikia imti už atlenktosios kertelės.
4. Nukelti nuo svarstyklių svareliai dedami tik į dėžutėje pažymėtą vietą.
5. Negalima visai paleisti stabdžio, kolei lėkštelės nėra artimos pusiausvyrai; stabdis paprastai atleidžiamas tiek, kad būtų galima spręsti, kuri lėkštelių lengvesnė, kur, būtent, krypsta rodiklis; tai pastebėjus, tuoj reikia sustabdyti svarstykles ir pridėti ar atimti svarelių. Kai sveriamojo kūno

g — laisvai krintančio kūno greitėjimas,
t — kambario oro temperatūra.

Ši formula retai vartojama. Paprastose svėrimo sąlygose, kambario temperatūroje, kada nereikalaujama didelio tikslumo, imama

$$p = p_0 = 1{,}2 \text{ mg} = 0{,}0012 \text{ g} \quad \text{(tiksliau 0,001293)}.$$

Lai kūno masė tuštumoje (tikroji ieškomoji masė) M,
Svarelių tikroji masė, lygi kūno masei ..... P,
Kūno tankis ..... D,
Svarelių „ ..... d,
Oro „ ..... p,

Kūno tūris $= M/D$; tokio pat tūrio oro masė $= Mp/D$, tai ir yra matomasis kūno masės nuostolis; todėl jo matomoji masė ore yra

$$M - \frac{M}{D}p = M\left(1 - \frac{p}{D}\right).$$

Visai tokiu pat keliu randama svarelių masė:

$$P\left(1 - \frac{p}{d}\right).$$

Ore svarstyklės rodo kūno ir svarelių masių vienodumą, iš čia

$$M\left(1 - \frac{p}{D}\right) = P\left(1 - \frac{p}{d}\right), \text{ arba } M = P\left(1 - \frac{p}{d}\right)\left(1 - \frac{p}{D}\right)^{-1}.$$

Kadangi p labai mažas dydis, tai p/D yra dar mažesnis dydis, išskleidus į eilutę pagal binomą ir atmetus visus p, kurių laipsniai aukštesni už pirmąjį, gaunama

$$M = P\left(1 - \frac{p}{d}\right)\left(1 + \frac{p}{D}\right),$$

arba

$$M = P\ 1 - \frac{p}{d} + \frac{p}{D},$$

arba

$$M = P + 1{,}2\,P\left(\frac{1}{D} - \frac{1}{d}\right) \text{ mg}.$$

Čia antrasis narys duoda ieškomąją pataisą miligramais; P žymima gramais.

Kai sveriama žalvariniais svareliais, tai $d = 8{,}4$.

$$M = P + 1{,}2\,P\left(\frac{1}{D} - \frac{1}{8{,}4}\right).$$

Kartais rašoma

$$M = P + kP,$$

$$\text{čia } k = 1{,}2\left(\frac{1}{D} - \frac{1}{8{,}4}\right) \text{ mg}.$$

Lentelė 1 duoda daugiklio k skaičiaus reikšmę įvairiems sveriamojo kūno D tankiams; yra taip pat lentelių, kurios duoda pataisas, sveriant platininiais svareliais, kurių $d = 22$, ir dėl to

$$k = 1{,}2\left(\frac{1}{D} - \frac{1}{22}\right) \text{ mg}.$$

Kauno miesto Savivaldybės Vinco Kudirkos SKAITYKLA

MECHANIKA, SKYSČIAI, DUJOS

§ 12. Kapiliarų stipino matavimas

Turint ir pakankamai tikslias priemones ilgiui matuoti kapiliaro stipiną tiesioginiai išmatuoti yra sunku. Jį matuojame šiuo aplinkiniu keliu.

Į kapiliarą įtraukiame gyvojo sidabro ir išmatuojame jo gyslelės ilgį l; vėliau šį gyvąjį sidabrą pasveriam ir surandame jo masę m; gautus davinius įstatome į formulą

$$r = \sqrt{\frac{m\,(1+\alpha\,t)}{d_0\,l\,\pi}}$$

ir išskaičiuojame kapiliaro stipiną r. Čia $d_0 = 13{,}59$ g/cm³ gyvojo sidabro O⁰ C temperatūros tankis, $\alpha = 0{,}00018$ — jo skėtimosi koeficientas, t^0 — matuojamo gyvojo sidabro (kambario) temperatūra.

Jei gyvojo sidabro gyslelės ilgis yra l cm, jos stipinas r cm, tai užimtas gyslelės tūris yra lygus

$$\pi r^2 l \text{ cm}^3.$$

Gyvojo sidabro gyslelės masė

$$m = \pi r^2 l d \text{ g}, \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

kur d yra gyvojo sidabro t^0 temperatūros tankis. 0⁰C ir t^0 temperatūrų gyvojo sidabro tankius d_0 ir d sieja ši pareinamybė:

$$d_0 = d(1+\alpha t)$$

$$\text{arba } d = \frac{d_0}{1+\alpha\,t} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

Įstatę d į (1) lygtį, gauname

$$r = \sqrt{\frac{m\,(1+\alpha t)}{d_0\,l\,\pi}} \text{ cm.}$$

Gyvojo sidabro gyslelės ilgį matuojame komparatorium, o masę pasveriame tiksliomis svarstyklėmis. Darbą taip atlieka-

me. Pirmiausiai kapiliarą gerai išplauname sieros rūgšties ir chromo mišiniu, destiliuotu vandeniu ir jį išdžioviname, leisdami sauso oro srovę. Tuomet į jį įtraukiame apie 10—15 cm ilgio gyvojo sidabro ištisinę gyslelę ir, padėję kapiliarą po komparatorium, išmatuojame jos ilgį l. Dabar pasveriame mažą švarią lėkštelę ir į ją iš kapiliaro išpilame gyvąjį sidabrą, žiūrėdami, kad jo nepasiliktų kapiliare ir nenubėgtų pro šalį, ir vėl pasveriame. Iš šių dviejų svėrimų surandame gyvojo sidabro masę m. Įstatę gautus davinius į formulą, išskaičiuojame kapiliaro stipiną.

r klaida Δr yra lygi: $\pm\Delta r = \pm r\left(\frac{\Delta m}{2m} + \frac{\Delta l}{2l}\right)$. Nors matuojame ir temperatūrą t, bet jos klaida į r labai mažai teatsiliepia, todėl jos galime ir neskaičiuoti.

§ 13. Tankis, lyginamasis svoris

Kūno tūrio vieneto masę vadinam *kūno tankiu* arba *specifine mase*. Jį skaičiuojame dalydami kūno masę iš jo tūrio. Tankio dimensija [$g\,cm^{-3}$].

Kūno svorio santykį su jo tūrio 4° C temperatūros vandens svoriu vadiname *lyginamuoju svoriu*. Jis turi nulinę dimensiją [$g^0\,cm^0\,sek^0$]. Savo skaičiaus verte jis yra lygus kūno tankiui.

Lyginamąjį svorį surandame įvairiais būdais.

1. Piknometras

Fig. 19.

Piknometras yra stiklinis indelis su pritrintu kiauru kamščiu (fig. 19). Pripylę piknometrą bet kurio skysčio, pamažėli įkišame kamštį. Skysčio perteklius išbėga pro kamščio skylutę. Piknometras turi būti pripiltas skysčio iki kamščio skylutės viršaus arba iki tam tikros žymės. Piknometre neturi būti oro burbuliukų.

a) Kietas kūnas.

Kieto kūno lyginamąjį svorį taip surandame. Pripilame pilną piknometrą destiliuoto vandens, užkemšame, nusausiname

sugeriamuoju popieriu, ir, jautriomis svarstyklėmis pasvėrę, gauname P g.

Atsargiai atkimšę piknometrą, pamažu įleidžiame tiriamąjį kūnelį, vėl užkemšame, nusausiname ir pasvėrę gauname P_1 g.

Pasvėrę patį kūnelį, gauname p g.

Išstumto vandens masė

$$m = (P + p - P_1)\ \text{g},$$

tai lyginamasis kūnelio svoris

$$s = \frac{p}{P + p - P_1}$$

b) Skystis.

Skysčio lyginamąjį svorį tokiu būdu nustatome. Išdžioviname piknometrą ir jį tuščią pasveriame. Gaunam P g. Paskui pripilame pilną piknometrą destiliuoto vandens, užkemšame, nusausiname ir, pasvėrę jį su vandeniu, gauname P_1 g.

Pasvėrę piknometrą su tiriamuoju skyščiu, gauname P_2 g. Tuomet skysčio lyginamasis svoris

$$s = \frac{P_2 - P}{P_1 - P}$$

Įvertiname gautų rezultatų klaidas. Pirmajam atsitikime rezultato klaida yra

$$\pm \Delta s = \pm s \left[\frac{\Delta p}{p} + \frac{\Delta P + \Delta p + \Delta P_1}{P + p - P_1} \right],$$

o antrajame

$$\pm \Delta s = \pm s \left[\frac{\Delta P_2 + \Delta P}{P_2 - P} + \frac{\Delta P_1 + \Delta P}{P_1 - P} \right].$$

2. Pastovaus tūrio areometras

Šį areometrą sudaro metalinis, cilindrinis, su kūgiškais galais, tuščiaviduris indas A, prie kurio vieno galo prikabintas krepšelis K, o prie kito — ant savotiškai lenkto stiebelio — kabo lėkštelė L (fig. 20). Prie indo A viršutiniosios dalies prilydytas smailas iešmukas — žymė d, iki kurios turi būti areometras gramzdinamas į vandenį.

Areometrą įstatome į destiliuoto vandens indą. Kad jis nugrimstų iki žymės d, reikalinga ant lėkštelės L padėti P g. Padėjus ant tos pat lėkštelės ir sveriamąjį kūną, mažiau berei-

kės svarelių, kad areometras laikytųsi nugrimzdęs iki žymės *d*. Tegu dabar reikia padėti P_1 g. Taigi, sveriamojo kūno svoris

$$p = (P - P_1)\ \text{g}.$$

Fig. 20.

Dabar sveriamąjį kūną įdedame į krepšelį *K*. Kad areometras nugrimstų iki žymės *d*, į lėkštelę *L* reikia pridėti tiek svarelių, kiek palengvėja panardintas vandenin sveriamas kūnas, taigi, kiek sveria sveriamo kūno išstumtas vanduo. Jei šiame atsitikime ant lėkštelės *L* viso reikia padėti P_2 g, tai $P_2 - P_1$ yra kūno tūrio vandens svoris.

Bet kurio kieto kūno lyginamąjį svorį taip surandame. Ant lėkštelės *L* tol dedame svarelius, kol areometras nugrims iki žymės *d*. Tegu padėta svarelių:

1. areometrui be kūno nugramzdinti ..... P g,
2. „ su kūnu ant lėkštelės *L* „ ..... P_1 g,
3. „ „ „ krepšelyje *K* „ ..... P_2 g.

Tuomet lyginamasis kūno svoris

$$s = \frac{P - P_1}{P_2 - P_1}.$$

Įstatę gautus davinius, išskaičiuojame lyginamąjį svorį. Darbą kartojame kelis kartus. Pasižymime vandens temperatūrą. Dirbdami darbą žiūrime, kad nugramzdintoji į vandenį areometro dalis nebūtų apgulta oro burbuliukų.

Ieškodami neskęstančių, lengvesnių už vandenį, kūnų lyginamojo svorio ir sverdami juos vandeny krepšelyje *K*, tą krepšelį apdengiame dangteliu.

Išskaičiuoto rezultato klaida

$$\pm \Delta s = \pm s \left[\frac{\Delta P_2 + \Delta P_1}{P_2 - P_1} + \frac{\Delta P + \Delta P_1}{P - P_1} \right].$$

3. Mohr'o - Westphal'io svarstyklės

Panardytas skystin kūnas tiek palengvėja, kiek sveria jo išstumtas skystis. Taigi, nardinant kūną į įvairius skysčius, kiekvieną kartą jo svorio mažėjimas parodo, kiek sveria jo tūrio skysčių masė, pvz., vandens ir bet kurio kito skysčio. Tai turint, jau lengva surasti ir lyginamasis imamo skysčio svoris. Taip matuojamas bet kurio skysčio lyginamasis svoris čia aprašytomis Mohr'o - Westphal'io svarstyklėmis.

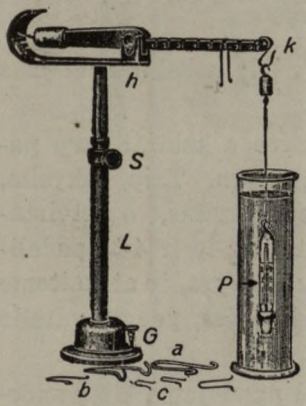

Fig. 21

Jas sudaro papėdė, svirtis, plūdė su termometru, pasagiškai sulenktų svarelių rinkinys ir stiklinis indas. Tuščiaviduris stovas *L* (fig. 21) leidžia svarstyklių dalį *kh* pakelti aukštyn ir nuleisti žemyn; reikiamam aukštyje šią dalį laiko sraigtas *S*. Stove yra plieniniai lizdeliai, kuriuose randasi svirties *kh* prizmos briauna. Smailagaliai rodo svirties pusiausvyrą; *a*, *b* ir *c* — svareliai.

Svarstykles sudaro nelygiapetė svirtis. Ilgesnysis jų petys padalintas į dešimtį lygių, skaičiais pažymėtų, dalių. Dešimtame padalinime įtaisyta prizma briauna aukštyn; ant šios prizmos briaunos pakabinta plūdė *P* — mažas termometras su padalinimais nuo 5° iki 25°; *a* svareliai lygūs, tik įvairios išvaizdos. Svarelis *b* yra 0,1 dalis svarelio *a*, *c* — 0,01 dalis jo. Kai svarelis *a* kabo svirties įpiovoje, tai ties ta įpiova esąs skaičius rodo dešimtąsias dalis to skaičiaus, kuris rodo lyginamąjį svorį, svarelis *b* rodo šimtąsias dalis, svarelis *c* — tūkstantąsias dalis.

Darbą taip atliekame. Svarstykles pastatome ant stalo, įdedame svirtį ir pakabiname plūdę. Jei smailagaliai nesutampa, tai sukame papėdės sraigtą *G* tol, kol jie sustoja vienas prieš kitą. Į indą įpilame destiliuoto 15° temperatūros vandens, nugramzdiname į jį plūdę iki tam tikros vielutės žymės. Pusiausvyra dingsta; jai atstatyti į plūdės kabelį kabiname vieną iš svarelių *a*; šie svareliai atstato nugramzdintos į 15° temperatūros vandenį plūdės nustotąjį svorį. Turime du atsitikimus.

a) Skystis sunkesnis už vandenį.

Į indą įpilame tiriamojo skysčio, į kabelį kabiname svarelį *a*; pusiausvyrai atstatyti dar naudojamės svareliais *a*, *b* ir *c*, kabindami juos į svirties įpiovas.

b) Skystis lengvesnis už vandenį.

Pusiausvyrą atstatome svareliais *a*, *b* ir *c*, kabindami juos į svirties įpiovas.

Kartais pasitaiko mažuosius svarelius *c* kabinti tarp padalinimų, kad visiškai atsistatytų pusiausvyra. Taip, sakysim, svarelis *c* padėtas 3 svirties padalinime permažas, o ketvirtame — perdidelis; tuomet jį kabiname tarp 3-io ir 4-to padalinimų tokioje vietoje, kad susidarytų pusiausvyra, ir atskaitome tūkstantąsias ir dešimts tūkstantąsias iš akies, pagal svarelio *c* vietą.

Nustatydami svarstykles, paprastai naudojame 15° vandenį, todėl rastąjį tiriamojo skysčio lyginamąjį svorį dauginame iš lyginamojo svorio 15° temperatūros vandens, kad surastum skysčio lyginamąjį svorį 4° vandens atžvilgiu.

Išmatuoto dydžio atsitiktinę klaidą taip įvertiname. Nustatome, kokį svarelį reikia pridėti ir atimti, kad pusiausvyra, nors ir visai nedaug, bet pastebimai pasikeistų. Šių dviejų atskaitymų skirtumas ir duoda atsitiktinę klaidą.

4. Jolly svarstyklės.

Bet kurio kūno svoris p kinta, žemės traukos jėgos pagreitinimui g kintant, nes $p = mg$; čia m yra kūno masė. Kūno svorio pakitimas pastebimas sveriant kūną spyruoklinėmis svarstyklėmis — nelygių svorių tempiama svarstyklių spyruoklė pailgėja nevienodai. Vienoje toje pačioje vietoje spyruoklės pailgėjimas yra proporcingas kūno masei, nes toje pat vietoje g yra pastovus. Šiame atsitikime tokiom svarstyklėm galima derinti ir mases. Spyruoklinėmis svarstyklėmis sveriant, reikia žiūrėti, kad elastingos spyruoklės pailgėjimai būtų proporcingi ją tempiantiems svoriams. Taigi, niekuomet nereikia ją perdaug ištempti.

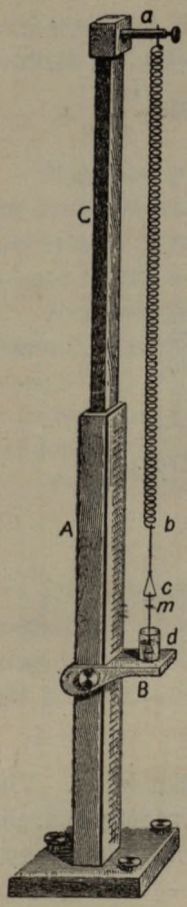

Fig. 22.

Jolly svarstyklių, kaip ir kiekvienų spyruoklinių svarstyklių, pamatinė dalis yra tinkamu būdu pakabinta prie stovo *AC* spyruoklė *ab* (fig. 22). Pastarasis turi veidrodinę skalą ir kilnojamą lentynėlę *B* indėliui su vandeniu padėti. Stovo papėdės sraigtai padeda nustatyti svarstyklių stovą stačiai — lygiagrečiai pakabintai spyruoklei. Kad spyruoklės svyravimus greičiau nuslopintume, pakabintą prie spyruoklės apatinę lėkštelę *d* nugramzdiname vandenin. Ant lėkštelės *c* dedame svarelius. Spyruoklės pailgėjimus surandame, nustatydami ties kuriuo skalos padalinimu randasi žymė *m*.

Su Jolly svarstyklėmis galime surasti nedidelio kūno masę bei jo lyginamąjį svorį. Juos taip matuojame. Pirmiausiai surandame svarstyklių spyruoklės konstantą — skaičių, kuris parodo, kiek spyruoklė pailgėja, tempiant ją 1 g jėga. Iš pradžių atskaitome žymės *m* vietą skaloje ir ant lėkštelės *c* dedame 1, 2, 3 ir t. t. gramų mases ir kiekvieną kartą atskaitome žymės *m* vietą. Spyruoklei ilgėjant, lentynėlę su indėliu leidžiame žemyn, kad lėkštelė *d* visą laiką būtų nugrimzdusi vandenin. Padėję iki 8 g ir nustatę *m* vietą, nuo lėkštelės nuimame po vieną gramą ir vėl atskaitome atitinkamas *m* vietas. Iš gautų davinių išskaičiuojame spyruoklės konstantą *k*.

Išmatuotus davinius paprastai surašome į lentelę.

Apkrovimas g	Atskaitymai cm		Aritmetiškas vidurkis
	Uždedant	Nuimant	
0	22,80	22,88	$a_0 = 22{,}84$
1	25,80	25,83	$a_1 = 25{,}82$
2	28,75	28,78	$a_2 = 28{,}77$
3	31,66	31,75	$a_3 = 31{,}71$
4	34,60	34,63	$a_4 = 34{,}62$
5	37,54	37,58	$a_5 = 37{,}56$
6	40,45	40,48	$a_6 = 40{,}47$
7	43,35	43,38	$a_7 = 43{,}37$
8	46,20	46,20	$a_8 = 46{,}20$

Spyruoklės konstantą taip išskaičiuojame. Imame

$a_5 - a_1 = 11{,}74$
$a_6 - a_2 = 11{,}70$
$a_7 - a_3 = 11{,}66$
$a_8 - a_4 = 11{,}58$

Spyruoklės konstanta

$$k = \frac{11{,}670}{4} = 2{,}918 \ \frac{\text{cm}}{\text{g}}.$$

Arit. vidurkis $a = 11{,}670$

Įvertiname rezultato klaidą:

	ε_n	ε^2_n
$a - (a_5 - a_1) =$	$-0{,}070$	0,00490
$a - (a_6 - a_2) =$	$-0{,}030$	090
$a - (a_7 - a_3) =$	$+0{,}010$	010
$a - (a_8 - a_4) =$	$+0{,}090$	810

$$\Sigma\varepsilon^2_n = S = 0{,}01400$$

Vidut. atsk. klaida $\varepsilon = \pm \frac{1}{4}\sqrt{\frac{0{,}014}{3}} \approx \pm 0{,}13$

Vidut. arit. vid. klaida $\varepsilon_v = \pm \sqrt{\frac{0{,}014}{4.3}} \approx \pm 0{,}03$

Vidut. spyruoklės konst. klaida $\frac{\varepsilon_v}{4} = \pm 0{,}009 \approx 0{,}01$

Rezultatas:

$$k = 2{,}92 \pm 0{,}01 \ \frac{\text{cm}}{\text{g}}$$

Spyruoklės konstantą surandame ir grafišku būdu. Vienoje stačiakampių koordinatų ašyje sužymime uždėtų svarelių masės, antroje — atitinkamų spyruoklės pailgėjimų - patrumpėjimų aritmetiškus vidurkius. Tarp gautų taškų taip išvedame tiesę, kad abejose pusėse būtų vienodas taškų skaičius. Tuomet spyruoklės konstantos k vertė yra lygi atkarpų AB ir AC santykiui arba tiesės pasvirimo į koordinatų ašį kampo α tangentui (fig. 23):

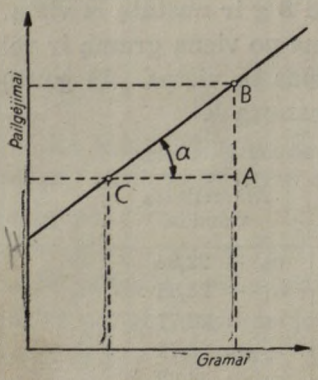

Fig. 23.

$$k = \frac{AB}{AC} = tg\alpha$$

Bet kurį nedidelį kūną taip sveriame Jolly svarstyklėmis. Pradžioj atskaitome žymės m vietą n_1 skaloje. Sveriamąjį kūną

padedame ant lėkštelės c ir vėl atskaitome žymės vietą n_2. Spyruoklės pailgėjimas yra $n_2 - n_1$; kūno masė

$$m = \frac{n_2 - n_1}{k} \text{ g.}$$

Pagaliau lyginamąjį svorį surandame šiuo būdu: atskaitome žymės m vietą skaloje n_1, ant lėkštelės c padėję kūną vėl atskaitome žymės vietą n_2. Tuomet kūną perkeliame ant lėkštelės d ir atskaitome n_3.

Spyruoklės pailgėjimas $n_2 - n_1$ yra proporcingas kūno svoriui; o spyruoklės patrumpėjimas $(n_2 - n_1) - (n_3 - n_1) = n_2 - n_3$, kuomet kūnas iš lėkštelės c perkeliamas į lėkštelę d ir nugramzdinamas vandenin, proporcingas to kūno tūrio vandens svoriui.

Taigi, lyginamasis kūno svoris

$$s = \frac{n_2 - n_1}{(n_2 - n_1) - (n_3 - n_1)}.$$

Gautuosius davinius įstatę į šias formulas, išskaičiuojame sveriamojo kūno masę ir lyginamąjį svorį. Matuojant reikia saugoti, kad lėkštelė d būtų nugramzdinta vandenin ir kad lėkštelė c nesušlaptų.

Įvertiname išskaičiuotų m ir s rezultatų klaidas:

$$\pm\Delta m = \pm m \left(\frac{2\Delta n}{n_2 - n_1} + \frac{\Delta k}{k} \right)$$

$$\pm\Delta s = \pm s \left(\frac{2\Delta n}{n_2 - n_1} + \frac{2\Delta n}{n_2 - n_3} \right).$$

§ 14. Atwood'o mašina

Nuolatinė kūną veikianti jėga f savo skaičiumi yra lygi to kūno masės m ir jo įgyto greitėjimo a sandaugai:

$$f = ma \left(\frac{\text{g cm}}{\text{sek}^2} \right).$$

Svorio jėga P pagreitina laisvai krintantį kūną apie (tai pareina nuo geografinio platumo) $981 \frac{\text{cm}}{\text{sek}^2}$. Taigi,

$$P = mg,$$

čia g — svorio jėgos greitinimas, bei kūno greitėjimas.

Laikant Žemės traukos lauką pastoviu, laisvi kūnai šiame lauke krinta tolydiniai greitėdami.

Tolydiniai greitėjamo judėjimo dėsniai tokie:

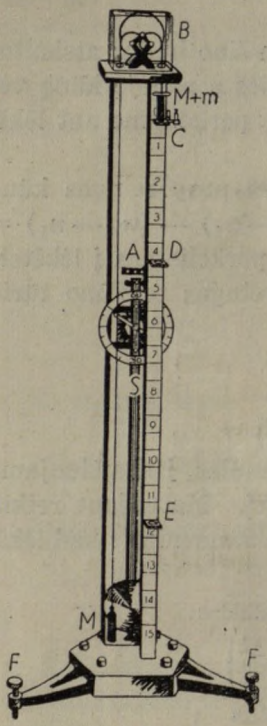

Fig. 24.

1. Įgytasis greitis v tiesioginiai proporcingas laikui t:

$$v = a\,t\,\frac{\text{cm}}{\text{sek}} \quad \ldots\ldots \quad (1)$$

2. Nueitasis kelias s tiesioginiai proporcingas laiko t kvadratui:

$$s = \frac{a}{2}t^2 \text{ cm.} \quad \ldots\ldots \quad (2)$$

Šiem dėsniam patikrinti vartojama Atwood'o mašina (fig. 24). Principe ją sudaro siūlas permestas, per laisvai besisukantį skridinį, su į galus įkabintomis vienodomis masėmis M. Pridėjus, sakysim, prie dešiniosios masės M nedidelę masę m, dešinysis siūlo galas, masių $M + m$ apkrautas, ima slinkti žemyn, tolydiniai (laikant sistemą uždarą) greitėdamas. Viena pati laisvai krisdama masė m įsigytų g greitėjimą. Tačiau, dabar ši masė m turi nugalėti be savo inercijos dar dviejų masių M inercijas ir besisukančio skritulio atitinkamos masės m_1 inerciją, atseit,

$$mg = (2M + m + m_1)\,g_1.$$

Iš čia įgytasis greitėjimas g_1:

$$g_1 = \frac{mg}{2M + m + m_1} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (3)$$

Reiškia, $g_1 < g$: Atwood'o mašina palėtina krintančių kūnų greitėjimą.

Atwood'o mašina taip atrodo:

Sijos A viršuj įtaisytas galįs suktis skridinys B. Per skridinį permestas siūlas, į kurio galus įkabinamos masės M ir M. Prie sijos pritaikyta centimetrais padalinta skala, prie kurios nulinio padalinimo pritaisyta lentynėlė C ir dar dvi kitos len-

tynėlės D ir E. Ant lentynėlės C padedama dešinioji masė M. Lentynėlę nuleidus, masė M ima slinkti žemyn. Lentynėlės D ir E galima stumdyti aukštyn ir žemyn; be to, lentynėlė D turi skylutę, pro kurią laisvai pralenda masė M. Prie sijos dar pritaisyta sekundinė svyruoklė S laikui matuoti. Sraigtai F ir F padeda siją A stačiai nustatyti.

a) Ieškome greitėjimo g_1.

Nustatome stačiai siją A su sraigtais, kad masė M laisvai praeitų pro lentynėlės D skylutę.

Įkabiname į permesto per skridinį B siūlo galus mases M ir M ir stebime, kad jos būtų pastovioj pusiausvyroj (tai nustatome mažomis priedinėmis masėmis).

Padedame ant dešiniosios masės M „varomąją“ masę m. Paleidžiame svyruoti svyruoklę S. Svyruoklės tikčiojimo laiku leidžiam masei $M + m$ kristi nuo lentynėlės C.

Lentynėlę E įtvirtinam tokioj vietoj, kad masė $M + m$ pasiektų ją, sakysim, antrosios sekundės gale.

$s = \frac{g_1 t^2}{2}$ formula duoda galimumo apskaityti g_1; čia s — nuotolis tarp C ir E, o $t = 2; 3; 4$ sek. g_1 išskaičiuojame ir iš (3) formulos ir palyginame rezultatus.

b) Greičių ir kelių dėsnius taip patikriname:

Apvalią varomąją masę m pakeičiame pailga tokia pat mase. Lentynėlę D nustatome taip toli nuo C, kad masė $M + m$ nukristų tą nuotolį, sakysim, per 2 sekundes. Svyruoklės tikčiojimo metu paleidžiame masę $M + m$ kristi. Po 2 sekundžių masė $M + m$ pasiekia lentynėlę D, kurios žiedinė skylė sulaiko varomąją masę m. Toliau masė M slenka jau tik iš inercijos pastoviu greičiu.

Lentynėlę E pastatome taip toli nuo D, kad ED nuotolį masė M nukristų per 1 sekundę.

Tuomet masės $M + m$ nueitas per 2 sekundes kelias yra $s = CD$, o masės M greitis antrosios sekundės gale $v = DE$. Panašiai surandame nueitus kelius per 3, 4 sekundes ir greičius gale 3-ios, 4-ios sekundžių.

Be to, nueitus kelius per tuos pačius laiko tarpus išskaičiuojame iš formulos (2) ir palyginame gautuosius davinius su išmatuotais.

Davinius surašome į lentelę:

Gramais		t	Išmatuoti			Išskaičiuoti			Pastabos
M	m	sek	g_1 cm/sek^2	s cm	v cm/sek	g_1 cm/sek^2	s cm	v cm/sek	

Įvertiname matavimo klaidas:

$$\pm \Delta g_1 = \pm g_1 \left(\frac{\Delta s}{s} + \frac{2 \Delta t}{t} \right).$$

§ 15. Standaus kūno pusiausvyra

Kūnas yra pusiausvyroje, kai visų jį veikiančių jėgų atstojamoji yra lygi nuliui ir visų jėgų momentų suma bet kuriam taškui lygi nuliui. Šias pusiausvyros sąlygas galime patikrinti prietaisu — keltuvu (fig. 25). Jį sudaro rėmas, atremtas metaliniu smailagaliu A į metalinę plokštelę. Po rėmu pakabiname svarelį P ir spyruoklinėmis svarstyklėmis S traukiame rėmą tol, kol jis atsistoja stačiai. Tokioje pusiausvyros padėtyje veikia šios 4 jėgos: 1) svarelio svorio jėga P, 2) spyruoklinių svarstyklių jėga S, 3) rėmo svorio jėga D ir 4) šių trijų jėgų atstojamajai priešinga reakcijos jėga veikianti tašką A. Čia nagrinėjame tik veikiančias keltuvą išorines jėgas ir nekreipiame dėmesio į jėgas, veikiančias įvairiose paties keltuvo dalyse. Svorio jėgą P ir svarstyklių trau-

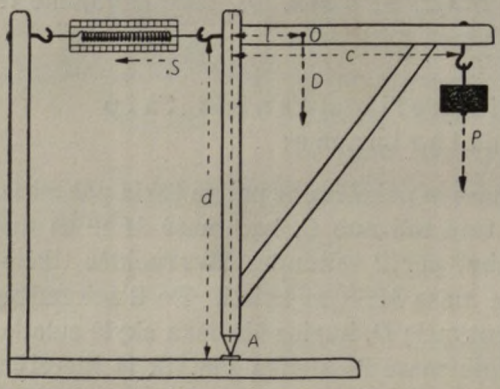

Fig. 25.

kiamąją jėgą S tiesiog išmatuojame; pasvėrę rėmą, randame ir jo svorio jėgą D, o reakcijos jėgą taške A nustatome grafiškai, išbraižę jėgų lygiagretainį.

Vėliau surandame jėgų momentus. Jėgos momentu vadiname sandaugą jėgos iš jos peties. Jėgos P petys yra c, jėgos S — d; svorio jėgos D petį l surandame, atrėmę rėmą į aštrią briauną jo svorio centre. Jėgos momentus sumuojame vektoriškai ir parodome, kad pusiausvyros padėtyje visų momentų suma bet kuriam taškui lygi nuliui, taigi, $\Sigma Pp = 0$, čia P yra bet kuri veikianti jėga, p — jos petys. Iš pradžių sumuojame visus jėgos momentus rėmo atramos taškui A; vėliau parodome, kad ir bet kuriam taškui $\Sigma Pp = 0$. Pečių ilgius surandame grafišku keliu.

§ 16. Inercijos momentas

Kai masės m taškas sukasi apie ašį, besirandančią atstume r nuo jo, tai sandauga mr^2 vadinasi tos masės *inercijos momentas*. Galima vaizduotis, kad kiekvienas kūnas yra sudėtas iš labai daug masės taškų, kitaip tariant, elementinių masių, kurių atstumai nuo sukimosi ašies yra skirtingi. Todėl, besisukančio apie bet kurią ašį, kūno inercijos momentas I yra lygus visų jo mr^2 sumai:

$$I = \Sigma mr^2 \text{ g cm}^2 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

kai m išmatuota gramais, o r — centimetrais.

Inercijos momentas I, galima sakyti, *nusako tokią besirandančią 1 cm nuotolyje nuo sukimosi ašies masę, kuri sukimosi atžvilgiu yra lygiavertė besisukančio kūno masei.*

Inercijos momentas pareina nuo sukimosi ašies vietos. Tegu bet kurio kūno, besisukančio apie einančią per jo masės centrą ašį, inercijos momentas yra I; tuomet, perkėlus sukimosi ašį lygiagrečiai pirmajai per nuotolį d nuo masės centro, kūno inercijos momentas:

$$I_1 = I + Md^2, \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

kur M yra kūno masė.

1. Inercijos momento nustatymas iš sukamųjų svyravimų

Geometriškai taisyklingo pavidalo kūnų inercijos momentą galime išskaičiuoti. Netaisyklingo pavidalo kūnų inercijos momentą nustatome eksperimentiniu keliu iš sukamųjų svyravimų. Tai darome tokiu būdu. Kūną, kurio inercijos momentą norime surasti, pakabiname ant metalinės vielos D (fig. 26). Figūroje parodytam atsitikime tokį kūną sudaro visa sistema: masė G, veidrodėlis T, metalinis skersinėlis S. Užsukę vielą nedideliu kampu, leidžiame sistemą svyruoti ir nustatome *svyravimo periodą*, t. y. laiką, per kurį sistema užsisuka į antrą pusę ir sugrįžta į savo pirmykštę vietą. Sukamojo svyravimo periodas:

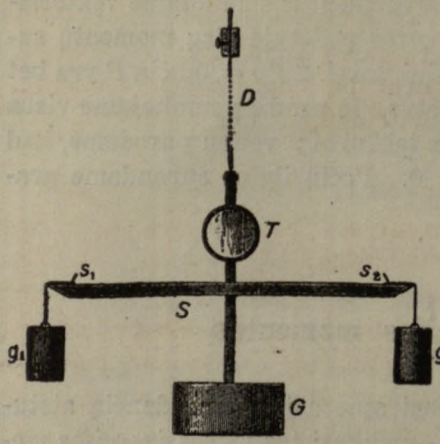

Fig. 26.

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I}{D}}, \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3)$$

kur I yra visos sistemos inercijos momentas, D — sukamųjų jėgų (torsijos) momentas, kai užsisukimo kampas lygus 1 radianui.

Nustatę periodą T, ant skersinėlio galų užkabiname du geometriškai tasyklingus kūnus g_1 ir g_2, kurių inercijos momentas galima išskaičiuoti. Paleidę sistemą svyruoti, nustatome svyravimo periodą T_1. Šiame atsitikime:

$$T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{I + I_1}{D}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (4)$$

Čia I_1 yra abiejų prikabintų kūnų g_1 ir g_2 inercijos momentas svyruojamajai ašiai. Prikabintų lygios masės cilindrų inercijos momentas:

$$I_1 = 2(1/2\, Mr^2 + Md^2),$$

kur M — vieno cilindro masė, r — jo stipinas, d — cilindro svorio centro nuotolis nuo svyruojamosios ašies.

Iš lygčių (3) ir (4) gauname sistemos inercijos momentą I:

$$I = \frac{I_1 T^2}{T_1^2 - T^2} \text{ g cm}^2 \ldots\ldots \quad (5)$$

Inercijos momentus taip matuojame. Paimame du lygių masių pagalbinius cilindrus g_1 ir g_2; pasvėrę juos, surandame jų mases M, išmatuojame jų stipinus r ir jų svorio centro nuotolį d nuo sukimosi ašies. Gautus davinius įstatome į formulą $I_1 = 2(^1/_2 Mr^2 + Md^2)$ ir išskaičiuojame abiejų cilindrų inercijos momentą sukamajai ašiai.

Užsukame nedideliu kampu vielą ir leidžiame sistemą svyruoti be pagalbinių cilindrų g_1 ir g_2. Pro žiūroną žiūrėdami, atskaitome 10—20 periodų ir išmatuojame laiką, per kurį tęsiasi šie 10—20 periodų; išskaičiuojame periodą T. Prikabiname cilindrus g_1 ir g_2 ir panašiu būdu surandame periodą T_1. Gautus I_1, T ir T_1 įstatome į formulą (5) ir išskaičiuojame ieškomą sistemos inercijos momentą. Matuojamuosius dydžius matuojame gramais, centimetrais, sekundėmis.

Įvertiname atskirų matavimų ir išskaičiuotų rezultatų klaidas:

$$\pm \frac{\Delta I_1}{I_1} = \pm \left[\frac{\Delta M}{M} + \frac{2r\Delta r + 4d\Delta d}{r^2 + 2d^2} \right] \quad \text{ir}$$

$$\pm \Delta I = \pm I \left[\frac{\Delta I_1}{I_1} + \frac{2 T_1 \Delta T}{(T_1 - T) T} \right].$$

2. Žiedo inercijos momentas

A. Kūno inercijos momentas galima surasti iš harmoniškų svyravimų. Fizinės svyruoklės svyravimo periodas

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I}{M g s}}, \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

kur I — svyruoklės inercijos momentas jos svyruojamajai ašiai, M — jos masė, s — masės centro nuotolis nuo svyravimo ašies, g — žemės traukos jėgos pagreitinimas. Iš čia

$$I = \frac{T^2 M g s}{4\pi^2} \text{ g cm}^2. \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

Išmatavę T, M, s ir žinodami, kad $g = 981$ cm/sec^2, galime išskaičiuoti inercijos momentą I.

Paimame metalinį žiedą, pakabiname jį ant smailumos B (fig. 27) ir leidžiame svyruoti. Atskaitome 10—20 periodų, nustatome laiką, kurį tęsiasi tie svyravimai ir surandame T; matavimus kartojame kelis kartus. Pasvėrę žiedą, surandame masę M. Svorio centro nuotolis nuo svyruojamosios ašies $s=r$. Vidinį žiedo stipiną r tokiu būdu matuojame. Išmatuojame žiedo laukujį skersmenį ir surandame jo laukujį stipiną R. Jei žiedo storis yra a, tai $r=R-a$. Pridėję iš žiedo vidaus nedidelį rutuliuką A, matuojame kartu žiedo ir rutuliuko storį. Išmatavę atskirai rutuliuko skersmenį, surandame žiedo storį a ir $r=R-a$. Gautus davinius įstatome į formulą (2) ir išskaičiuojame žiedo inercijos momentą.

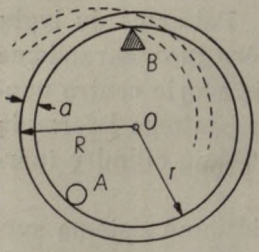

Fig. 27.

B. Žiedo inercijos momentą galime ir šiaip išskaičiuoti. Žiedui svyruojant apie aukščiau nusakytą ašį, jo inercijos momentas svyruojamai ašiai:

$$I = {}^1\!/_2 M (R^2 + 3r^2) \text{ g cm}^2 \quad \ldots\ldots \quad (3)$$

Čia M, R ir r yra jau anksčiau kalbėti dydžiai. Įstatę juos į formulą (3), išskaičiuojame inercijos momentą.

Palyginame rezultatus, gautus pirmu ir antru keliu.

Įvertiname atskirų matavimų ir rezultatų klaidas. Pastarųjų klaidos lygios: pirmajame atsitikime

$$\pm\Delta I = \pm I \left[\frac{2\Delta T}{T} + \frac{\Delta M}{M} + \frac{\Delta r}{r}\right], \text{ kur } \Delta r = \pm(\Delta R + \Delta a),$$

antrajame

$$\pm\Delta I = \pm I \left[\frac{\Delta M}{M} + \frac{2R\Delta R + 6r\Delta r}{R^2 + 3r^2}\right].$$

§ 17. Elastingumas

Vieną vielos galą įtvirtinę ir antrą tempdami, galime pastebėti, kad viela pailgėja. Nustojus tempti, viela vėl atgauna pirmykštį savo ilgį. Kūnų ypatybė, bet kuriai jėgai veikiant, de-

formuotis ir, nustojus jai veikti, vėl atgauti savo pirmykštį pavidalą vadinasi kūnų *elastingumas*. Didinant vielą tempiančią jėgą, iš pradžių vielos pailgėjimas didėja tiesiog proporcingai tempiančiai jėgai. Vėliau šis proporcingumas dingsta, padidėjusios jėgos ištempta viela nebesutrumpėja iki savo pradžios ilgio ir nustojus jėgai veikti: tada yra peržengta elastingumo riba. Visi kūnai yra šiek tiek elastingi, vieni daugiau, kiti mažiau. Visiškai neelastingi kūnai vadinasi plastingi.

Tempiamos vielos pailgėjimas l yra tiesiog proporcingas tempiančiai jėgai P, vielos ilgiui L ir atvirkščiai proporcingas vielos skersinio piūvio plotui Q. Pažymėję proporcingumo koeficientą a, turėsime, kad

$$l = a\frac{PL}{Q} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

Proporcingumo koeficientas, vadinamas dar elastingumo koeficientu, yra būdingas vielos medžiagai. Jo fizinė reikšmė aiškėja taip: kai $P = 1, L = 1, Q = 1$, tai $l = a$, taigi, *elastingumo koeficientas yra vielos vieneto ilgio pailgėjimas, tempiant ją jėga vienetu, kai vielos skersinio piūvio plotas lygus vienetui.* a yra mažas dydis, todėl praktikoje vartojamas atvirkščias dydis $Y = 1/a$, vadinamas *elastingumo arba Youngo moduliu*. Jį įstatę į (1), gauname

$$Y = \frac{PL}{Ql} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

Modulio dimensija [g cm sek^{-2}]. Išmatavę P dinomis, L ir l centimetrais, Q kvadrat. centimetrais, Y išskaičiuojame din/cm^2. Praktikoje dažniausiai tempiančią jėgą P matuojame kilogramais, L ir l milimetrais ir Q — kvadratiniais milimetrais (mm^2), tuomet Y skaičiuojame kg/mm^2. Iš formulos (2) aiškėja tokia elastingumo modulio reikšmė — jei $Q = 1$ mm^2 ir $L = l$, tai $Y = P$, taigi, *elastingumo, arba Youngo, modulis reiškia jėgą, išreikštą kilogramais vieno kvadratinio milimetro skersinio piūvio plotui, kuri reikalinga, kad tempiama viela pailgėtų antra tiek, kiek jos buvo paimta.*

Elastingumo modulis yra svarbi medžiagos konstanta. Jis galima surasti įvairiais būdais.

1. Elastingumo modulio suradimas tempiant

Prie geležinės sijos AB prikabinta tiriamoji viela mn (fig. 28). Antrame vielos gale pakabinta matuoklė su medine lentyna. Matuoklės nonijus pakabintas prie antros, pritvirtintos prie sijos, vielos lf galo. Abiem vielom ištiesti prikabinami svareliai F ir N; pastarasis padedamas ant lentynos, jei pačios lentynos svoris nepajėgia vielą mn ištiesti.

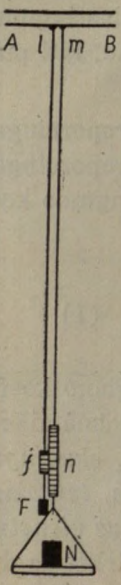

Fig. 28.

Vielos pailgėjimą taip surandame. Įvertinę nonijaus tikslumą ir atskaitę jo parodymą L_0, ant lentynos padedame P_1 kg svarelį. Palaukę 10—15 min., kol viela išsitemps, atskaitome naują nonijaus parodymą L_1. Dabar ant lentynos padedame antrą svarelį P_2 kg, vėl palaukiame 10—15 min. ir atskaitome trečią nonijaus parodymą L_2. Įsitikinti, kad niekur nesuklydome, nuimame po vieną uždėtus svarelius ir kiekvieną kartą reikalingą laiką palaukę patikriname atskaitymus. Gavę nedidelius skirtumus, imame atitinkamų atskaitymų aritmetiškus vidurkius. Vielos pailgėjimas, tempiant ją P_1 kg jėga, yra $l_1 = L_1 - L_0$ ir (P_1+P_2) kg jėga $l_2 = L_2 - L_0$. Visos vielos ilgį L nuo m iki n išmatuojame matuojamąja juosta, vielos diametrą d — mikrometru. Surandame vielos stipiną r ir išskaičiuojame vielos skersinio piūvio plotą $Q = \pi r^2 = \pi d^2/4$. Įstatę davinius į formulą (2), išskaičiuojame Y_1 ir Y_2 kg/mm² arba din/cm².

Įvertiname atskirų matavimų ir išskaičiuotų rezultatų klaidas. Atsitiktinė rezultato klaida

$$\pm\Delta Y = \pm Y \left[\frac{\Delta L}{L} + \frac{\Delta l}{l} + \frac{2\Delta r}{r}\right].$$

Matuodami kelis kartus, imame gautų davinių aritmetišką vidurkį ir surandame vidutinę jo klaidą.

2. Elastingumo modulio nustatymas lenkiant

Jėgos P lenkiamas keturkampis stiebas palinksta dydžiu λ, kur

$$\lambda = k \frac{Pl^3}{Ya^3b}, \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3)$$

čia l — stiebo ilgis, a — storis, b — plotis, k — pareinąs nuo stiebo galų įtvirtinimo būdo koeficientas: $k=4$, kai stiebo vienas galas įtvirtintas, o antras laisvas, $k=1/4$, kai stiebo abu galai laisvai padėti ant atramų, ir $k=1/16$, kai stiebo abu galai įtvirtinti (fig. 29, a, b, c). Iš formulos (3) gauname

$$Y = k\,\frac{Pl^3}{\lambda a^3 b},$$

taigi, išmatavę P, l, a ir b, galime išskaičiuoti elastingumo modulį Y.

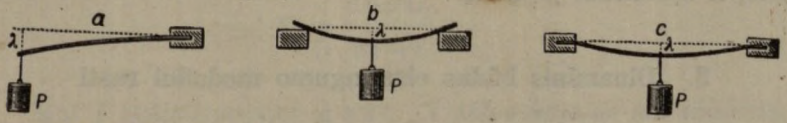

Fig. 29.

Modulio matavimui vartojamą prietaisą vaizduoja fig. 30. A_1 ir A_2 yra nupiautų piramidų pavidalo kaladėlės. Jų viršu-

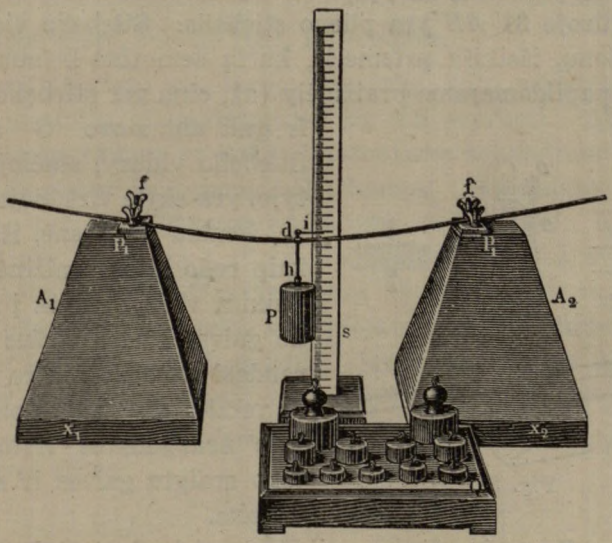

Fig. 30.

je prisuktos metalinės plokštelės P_1 stiebo galams priveržti. Ant stiebo užmautas movelis d su rodiklėliu i, pastatyta skala s, kurioje rodiklėlis parodo pralenkimą λ. Pastarąjį matuojame tri-

mis kalbėtais būdais (a, b, c). Pirmajam (a) atsitikime movelis randasi stiebo laisvame gale, o kituose dviejuose (b, ir c) stiebo viduryje. Stiebo storį ir plotį išmatuojame mikrometru, ilgį metrine liniuote. Ilgį l imame: (a) atsitikime — nuo piramidės iki movelio, o (b ir c) atsitikimuose — tarp piramidų.

Įvertiname atskirų matavimų bei išskaičiuoto rezultato klaidas. Pastarojo klaida

$$\pm\Delta Y = \pm Y \left[\frac{3\Delta l}{l} + \frac{3\Delta a}{a} + \frac{\Delta b}{b} + \frac{\Delta\lambda}{\lambda}\right].$$

Paprastai imame visais trimis būdais surastų rezultatų aritmetišką vidurkį ir apskaitome jo klaidą.

3. Dinaminis būdas elastingumo moduliui rasti

Dinaminiai būdai elastingumo moduliui rasti paremti svyruojančios sistemos svyravimo periodo matavimu; šioje sistemoje tiriamosios medžiagos elastingos jėgos palaiko sistemos svyravimą. Geriausieji yra Searl'io ir K. Šliupo metodai. Čia aprašomas paskutinysis jų.

Figūroje 31 AB yra plieno stiebelis. Stiebelio vidury, iš abiejų šonų, išsikiša prizmelės, kurių žemutinė briauna, kaip rodoma papildomajame braižinėly (a), eina per stiebelio centrą ir guli ant stovo G atramų. Stiebelio vidury, stačioje kryptyje, yra skylė viršūnėje platesnė, žemiau siauresnė, iš kurios, kaip rodo kitas braižinėlis (b), išsikiša viela, įlydyta į sraigtelio galvą, kurios viršus tiksliai randasi stiebelio centre. Sraigto veržlė yra tokio pat tūrio, kaip neužpildytos vietos tūris tarp sraigto galvos ir stiebelio viršaus.

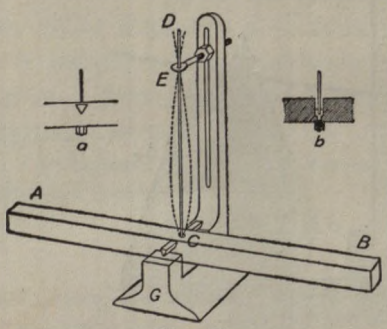

Fig. 31.

Stove G yra įveržiama vaikščiojanti lazdutė E, kurios gale yra įtaisyta plona skardelė su skylute, pro kurią, viela vos pralenda. Šitos lazdelės pagalba galima pakeisti vielos ilgis.

Išjudintas stiebelis pradeda taisyklingai svyruoti, o viela išsilenkia tai vienon, tai kiton pusėn. Dėl nedidelio svyravimo

kampo vielos ilgis, galima sakyti, beveik visiškai nesikeičia. Stiebo svyravimo periodas

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{4cIL}{\pi Y r^4}},$$

čia c yra konstanta ($c = {}^1/_3$), I — stiebo AB inercijos momentas CD ašiai, L — vielos dalies tarp C ir E ilgis, Y — vielos medžiagos elastingumo modulis, r — vielos stipinas. Iš pastarosios formulos gauname

$$Y = \frac{16\pi IL}{3T^2 r^4}$$

Kai I išskaičiuojame g cm^2, T išmatuojame sekundėmis, L ir r cm, tai Y išskaičiuojame din/cm^2.

Stiebo inercijos momentas

$$I = {}^1/_{12} M\,[l^2 + a^2],$$

čia M stiebo masė, l — jo ilgis, a — storis.

Matavimus taip atliekame. Surinkę, kaip parodyta figūroje 31, prietaisą, paleidžiame stiebą AB svyruoti. Atskaitome 20—30 svyravimų ir laiką išmatuojame sekundiniu laikrodžiu. Matavimus kartojame kelis kartus. Surandame stiebo svyravimo periodą. Pasvėrę nustatome stiebo masę. Kadangi viela CD yra įtvirtinta į stiebą, tai pastarąjį tenka sverti su viela. Tačiau tai nesudaro žymesnės klaidos: vielos masė yra maža. Vielos ir stiebo ilgius išmatuojame metrine liniuote, jos stipiną ir jo storį — mikrometru. Įstatę gautuosius davinius į formulą, išskaičiuojame Y (din/cm^2) arba (kg/mm^2).

Įvertiname atskirų matavimų ir rezultato klaidas. Išskaičiuoto inercijos momento klaida

$$\pm\Delta I = \pm I \left[\frac{\Delta M}{M} + \frac{2l\,\Delta l + 2a\,\Delta a}{l^2 + a^2}\right],$$

o elastingumo modulio klaida

$$\pm\Delta Y = \pm Y \left[\frac{\Delta I}{I} + \frac{\Delta L}{L} + \frac{2\,\Delta t}{t} + \frac{4\Delta r}{r}\right].$$

4. Sukamasis modulis

Stipriai įveržus vieną vielos galą ir sukant antrąjį jos galą pirmojo atžvilgiu, keičiama vielos forma, verčiant vienus dalelių sluoksnius pasistūmėti kitų atžvilgiu. Tam tikrose ribose toks pasistūmėjimo kampas φ yra proporcingas sukamam momentui ir surandamas iš formulos:

$$\varphi = \frac{2lD}{T\pi r^4} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

Čia φ — sluoksnių pasistūmėjimo kampas (radianais), r — vielos stipinas, l — jos ilgis, D — jėgų sukamasis momentas, T — vielos sukamasis modulis.

Sukamasis modulis reiškia tokį jėgų porio sukamąjį momentą, kuris įveikia pasukti 1 m ilgio ir 1 mm² skersinio piūvio ploto vielą kampu 360° arba 2π radianų.

Šis modulis surandamas iš vielos sukamųjų svyravimų. Svyravimo periodas

$$t = 2\pi\sqrt{I/D_1},$$

čia I — vielos gale prikabinto krovinio inercijos momentas sukamajai ašiai, D_1 — sukamasis momentas kampo vienetui.

Iš formulos (1):

$$D_1 = D/\varphi = \frac{T\pi r^4}{2l};$$

taigi,

$$t^2 = \frac{8\pi lI}{Tr^4}.$$

Kai prikabintasis krovinys yra taisyklingos formos, I galima išskaičiuoti. Kitaip, tenka prie jo prikabinti taisyklingos formos kūną, kurio inercijos momentą I_1 išskaičiuojame. Prikabinę jį, nustatome naują svyravimo periodą t_1, tada

$$t_1 = 2\pi\sqrt{\frac{I+I_1}{D_1}}.$$

Imdami laikų kvadratų skirtumą, randame, kad

$$t_1^2 - t^2 = \frac{8\pi l I_1}{T r^4}$$

iš kur

$$T = \frac{8\pi l I_1}{(t_1^2 - t^2) r^4} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

Sukamąjį modulį matuojame taip. Vieną vielos galą įveržiame, o prie antrojo pritvirtiname medinį kryžių su iešmukais krovinėliams mauti. Ant kryžiaus iešmukų pamauname 4 krovinėlius simetriškai sukimo ašiai ir nustatome svyravimo periodą t. Paskui pridedame dar 4 krovinėlius (gal ir kitokiuose atstumuose) ir nustatome periodą t_1.

Išskaičiuojame priedinį inercijos momentą I_1. Cilindriškos formos krovinėlio inercijos momentas ašiai, kuri yra lygiagreti jo geometriškai ašiai, yra lygus

$$^1/_2 Mr^2 + Ma^2;$$

4-ių, venodai nutolusių nuo svyravimo ašies, visas inercijos momentas

$$I_1 = 4(^1/_2 Mr_1^2 + Ma^2) = 2Mr_1^2 + 4Ma^2,$$

čia r_1 — krovinėlio stipinas,

a — krovinėlio svorio centro atstumas iki svyravimo ašies,

M — krovinėlio masė.

Gautus davinius įstatome į formulą (2) ir išskaičiuojame sukamąjį modulį. Išmatavę visus dydžius pamatiniais vienetais (g cm sek), sukamąjį modulį išskaičiuojame [din/cm^2].

Įvertiname atskirų matavimų bei išskaičiuotų rezultatų klaidas. Inercijos momento I_1 lyginamoji klaida

$$\pm \frac{\Delta I_1}{I_1} = \left[\frac{\Delta M}{M} + \frac{2r_1\Delta r_1 + 4a\Delta a}{r_1^2 + 2a^2}\right].$$

Išskaičiuoto sukamojo modulio klaida:

$$\pm \Delta T = \pm T \left[\frac{\Delta l}{l} + \frac{\Delta I_1}{I_1} + \frac{2\Delta t}{t_1 - t} + \frac{4\Delta r}{r}\right].$$

§ 18. Trintis

Bet kurios jėgos f atliktas darbas W bet kuriame kelyje s lygus

$$W = f\,s\cos\alpha, \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

čia α — kampas, kurį jėgos kryptis sudaro su kelio kryptim. Kuomet tos kryptys sutampa, t. y. $\alpha=0$, $\cos\alpha=1$, tuomet jėgos atliktą darbą išreiškiame sandauga jėgos iš kelio:

$$W = f\,s. \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

Statmena kelio krypčiai jėga ($\alpha=90^0$, $\cos\alpha=0$) neatlieka jokio darbo, $W=0$.

Pamatinis darbo vienetas — *ergas*. Tai yra *1 dinos atliktas darbas, veikiant jai* 1 cm *kelyje, kada jėgos ir kelio kryptys sutampa.* 10^7 ergų = 1 džaulis (J).

Kiekvienos mašinos uždavinys yra perkelti jėgą reikalingon vieton trinčiai bei inercijai nugalėti ir, bendrai, atlikti darbą. *Mašinos atliktą darbą per laiko vienetą vadiname jos galia.* Kai mašina per t sek nudirba darbą W, tai jos galia W/t.

J/sek = 1 vatas (W). 1000 W = 1 kilovatas (kW).

Stumiant vieną kūną kito kūno paviršium, reikia visuomet nugalėti tam tikrą pasipriešinimo jėgą, kurią sukelia kūnų paviršiaus nelygumai ir kuri pareina nuo kūnų paviršių trinties. Skiriama šliaužiančių ir riedančių kūnų trintis.

1. Šliaužiančių kūnų trintis

Kai gulsčia jėga traukia vieną kūną antro kūno paviršium, tai reikalinga kūnui išjudinti jėga F yra tiesiog proporcinga jėgai P, slegiančiai vieną kūno paviršių prie kito, ir ji beveik visai nepareina nuo kūnų lietimosi ploto:

$$F = \mu P. \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3)$$

Proporcingumo veiksnį μ *vadiname šliaužiančių kūnų trinties koeficientu.*

Suradus jėgas P ir F, lengvai surandamas ir šliaužiančio kūno trinties koeficientas μ:

$$\mu = F/P. \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (4)$$

Šliaužiančių kūnų statinį trinties koeficentą tokiu būdu išmatuojame. Paimame dvi medžiagos plokšteles A ir B. Apatinę A lygio pagalba nustatome gulsčiai, o prie viršutinės B prikabiname virvelę ir permetame per skridinėlį r (fig. 32). Žiūrime, kad traukiamoji jėga ir gulsčioji plokštuma būtų lygiagretės. Tada prie virvelės galo prikabiname tiek svarelių, kad plokštelė pradėtų judėti. Svarelių p svoris duoda traukiamąją jėgą. Kai traukiama plokštelė lengva, tai ant jos uždedame dar priedinį svarelį. Tada slėgiamoji jėga P yra lygi velkamos plokštelės ir uždėto ant jos priedinio svarelio svoriui. Iš formulos (4) išskaičiuojame trinties koeficientą μ.

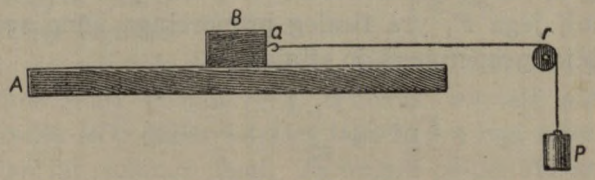

Fig. 32.

Trinties koeficientą galima ir tokiu būdu nustatyti. Padėjus kūną ant plokštumos AB, reikia jos vieną kraštą kelti tol, kol svorio jėgos S veikiamas kūnas pats pradės šliaužti žemyn. Tuomet traukiamoji jėga $F = S \sin\varphi$ ir paviršius slegianti jėga $P = S \cos\varphi$ (fig. 33). Taigi, trinties koeficentas

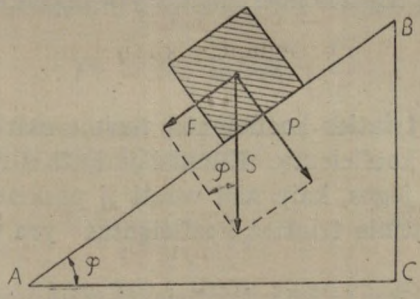

Fig. 33.

$$\mu_1 = F/P = \frac{\sin\varphi}{\cos\varphi} = \operatorname{tg}\varphi \quad \ldots\ldots\ldots \quad (5)$$

Bet $\operatorname{tg}\varphi = BC/CA$ (5a), taigi, užtenka išmatuoti aukštį BC ir pagrindą AC, kai kūnas pradeda šliaužti.

Iš formulos (5a) išskaičiuojame statinį trinties koeficientą μ_1. Pastebime, kad $\mu_1 > \mu$.

Įvertiname atskirų matavimų ir išskaičiuotų rezultatų klaidas. μ klaida

$$\pm\Delta\mu = \pm\mu\left(\frac{\Delta F}{F} + \frac{\Delta P}{P}\right)$$

o μ_1 klaida

$$\pm\Delta\mu_1 = \pm\mu_1\left[\frac{\Delta AC}{AC} + \frac{\Delta BC}{BC}\right].$$

2. Riedančių kūnų trintis

Kūnui riedant ant ratelių, arba ritantis, reikia daug mažesnės jėgos, kad jį patrauktume, kaip kad jam šliaužiant. Čia traukiamoji jėga F_1 yra tiesiog proporcinga kūno svoriui P_1 ir atvirkščiai proporcinga jo stipinui R:

$$F_1 = \rho\frac{P_1}{R} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (6)$$

Proporcingumo veiksnį ρ *vadiname riedančių kūnų trinties koeficientu.* Išmatavę traukiamąją jėgą F_1, kūno svorį P_1 ir jo stipiną R, išskaičiuojame ρ, kur

$$\rho = \frac{F_1 R}{P_1} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (6a)$$

Riedančių kūnų trinties koeficientas yra mažesnis už šliaužiančių kūnų:

$$\rho < \mu$$

Ieškodami trinties koeficiento, turime skirti *statinį ir dinaminį trinties* koeficientą. Kūnui išjudinti iš rimties padėties reikia didesnės jėgos, kaip kad versti jį paskiau tolydiniai judėti. Todėl statinis trinties koeficientas yra didesnis už dinaminį.

Riedančių kūnų trinties koeficientą taip surandame. Imame rutulį, išmatuojame jo stipiną R ir pritvirtiname jį už ašies; randame, kokia jėga F_1 išjudina jį iš rimties. Nustatome riedančio rutulio svorį P_1 ir F_1 ir, įstatę gautuosius davinius į formulą (6a), išskaičiuojame ρ.

Surandame ρ klaidą:

$$\pm\Delta\rho = \pm\rho\left[\frac{\Delta F_1}{F} + \frac{\Delta R}{R} + \frac{\Delta P_1}{P_1}\right].$$

3. Prony tyrimas

Prony tyrimu surandama mašinos galia. Mašinos galią matuojame darbu, kurį ji nudirba per laiko vienetą.

Ant bet kurios, vienodu greičiu besisukančios mašinos ašies *A* varžtais pritvirtiname dvi medines juosteles (fig. 34). Mašinos ašiai sukantis nurodyta kryptim, trinties jėga kelia dešiniąją svirtelės pusę į viršų. Dėdami svarelius ant lėkštelės galime gauti pusiausvyrą. Tuomet svirtelė stovi laisvai tarp atramų *DD;* dabar trinties jėga *R* yra lygi ašies paviršiuje veikiančiai mašinos jėgai. Ją nugali pakabinto ant svirties peties *l* svarelio svoris *P*; taigi, $Rr = Pl$, čia *r* yra mašinos ašies stipinas. Figūra 35 vaizduoja jėgų veikimą.

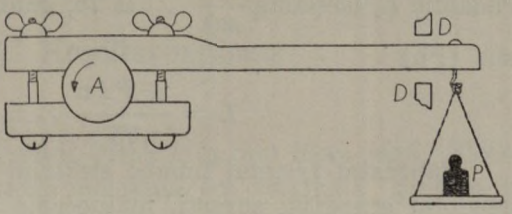

Fig. 34.

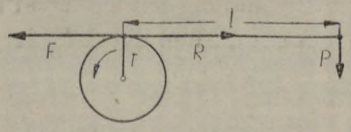

Fig. 35.

Mašinos jėgos *F* momentas *Fr* pusiausvyroje yra lygus trinties jėgos momentui *Rr*, taigi ir *P* jėgos momentui *Pl:*

$$Fr = Pl \quad \text{ir} \quad F = \frac{Pl}{r}.$$

Mašinos galią surandame dalydami darbą iš laiko. Pažymėję kelią *s*, laiką *t* ir galią *L*, gauname

$$L = \frac{Fs}{t} = \frac{Pls}{rt} \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

Kelias aplink ašį $s = 2\pi r$. Vieno ašies apsisukimo laiką arba periodą pažymime *T;* jį prilyginame *t*. Įstatę tai į formulą (1), gauname, kad

$$L = \frac{Pl\,2\pi r}{r\,T} = \frac{2\pi\,Pl}{T}\,\frac{\text{erg}}{\text{sek}} \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

P matuojame dinomis, *l* — centimetrais, *T* — sekundėmis. Periodas $T = 1/n$, *n* — apsisukimų skaičius per laiko vienetą, kuriuo imame sekundę. Tuomet

$$L = 2\pi Pln \frac{\text{erg}}{\text{sek}}$$

(arba kg m/sek, kuomet P matuojame kilogramais, o l metrais). Padalinę L, išreikštą $\frac{\text{kg m}}{\text{sek}}$, iš 75, gauname galią arklio jėgomis (Ph)

$$L = \frac{2\pi P l n}{75} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3)$$

Paprastai tyrimui imame elektrinį motorą. Visai jo sunaudotai energijai surasti, matuojame elektros srovės jėgą I (amperais), potencialų skirtumą V (voltais) ir laiką. Per laiko vienetą (1 sek) sunaudota energija

$$E = V I \text{ W} = 10^7 I V \frac{\text{erg}}{\text{sek}} \left(1 \text{ W} = 10^7 \frac{\text{erg}}{\text{sek}} \right) \ldots\ldots \quad (4)$$

Paimtosios energijos dalį, lygią $L = \frac{2\pi P l}{T} \frac{\text{erg}}{\text{sek}}$, motoras paverčia darbu, sunaudojamu trinčiai bei motoro inercijai nugalėti. Paprastai *santykį energijos, kurią bet kuri mašina paverčia darbu su tos mašinos sunaudota visa energija vadiname jos naudos koeficientu.*

Elektrinio motoro naudos koeficientas:

$$\eta = \frac{L}{E} = \frac{2\pi P l}{10^7 VIT} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (5)$$

Jį taip nustatome. Išmatavę nuotolį tarp motoro ašies centro ir lėkštelės pakabinimo taško surandame l. Paleidę motorą, ant lėkštelės dedame tiek svarelių, kad nusistatytų pusiausvyra, t. y., kad svirtelė nebeliestų atramų DD. Lai uždėtų svarelių svoris P. Tariama, kad svirties ir lėkštelės svorį atsveria priešingoje ašies pusėje pridėto svarelio svoris. Tachometru — prietaisu apsisukimų skaičiui matuoti — surandame apsisukimų skaičių n per sekundę ir išskaičiuojame periodą T. Tachometrą pridedame prie motoro ašelės, lengvai prispaudžiame ir palaikome kelias dešimtis sekundžių. Ampermetru išmatuojame elektros srovės jėgą I (amperais), voltmetru — potencialų skirtumą V (voltais). Įstatę gautuosius davinius į formulą (5), išskaičiuojame elektrinio motoro naudos koeficientą. Padauginę iš 100 išreiškiame jį %.

Įvertinę atskirų matavimų atsitiktines klaidas, išskaičiuojame rezultato klaidą $\pm \Delta \eta$, kur

$$\pm \Delta \eta = \pm \eta \left(\frac{\Delta P}{P} + \frac{\Delta I}{I} + \frac{\Delta T}{T} + \frac{\Delta l}{l} + \frac{\Delta V}{V} \right)$$

§ 19. Kapiliaringumas

Skysčio molekulos veikia viena kitą tam tikra jėga. Skysčio viduje esanti kiekviena molekula yra veikiama gretimųjų molekulų iš visų pusių vienodai, taigi, veikiančių ją jėgų atstatojamoji lygi nuliui. Tik paviršiaus sluoksnio molekulos yra ypatingame būvyje: jas veikia gretimosios apatinės molekulos, traukdamos skysčio vidun. Taigi, laisvą skysčio paviršių įtempia tam tikra jėga, kuri stengiasi jį sumažinti. Paviršių galima lyginti su įtempta gumine plokštele. Tatai galima pavaizduoti tokiu tyrimu.

Sulenkę plonos vielos rėmą A_1ABB_1, uždedame visai ploną slankiojamą ilgio l vielelę CD (fig. 36). Pamirkinę vielelių tarpą $ABCD$ žaliojo muilo tirpale, visą rėmą pakabiname už kilpelės ir, kabindami svarelius ant vielelės CD, randame didžiausį muilo plėvelės pakeliamą svorį. Tegul vielelės CD ir prikabintų svarelių bendras svoris bus p g, paviršiaus įtempimo arba kapiliarinė konstanta T, tai atsimindami, kad plėvelė turi dvi įtemptas puses, gauname tokią pareinamybę:

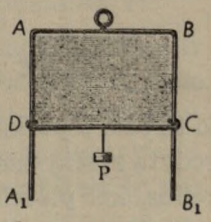

Fig. 36.

$$p = 2Tl \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

Pakabintas svarelis vielelę CD patraukia žemyn kelią ds. Pradinis plėvelės plotas S, ją ištempus, padidės dS, kur

$$dS = 2l\,ds \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

Didindamas paviršių svoris p atlieka darbą, nugalėdamas paviršiaus įtempimą,

$$pds = 2Tl\,ds = T\,dS = W, \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3)$$

iš kur $$T = W/dS = p/2l \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (4)$$

Tokiu būdu *paviršiaus įtempimo (arba kapiliarinė) konstanta T matuojama darbu, kurį reikia atlikti didinant skysčio paviršių 1 cm²*. Jos dimensija [g sek^{-2}]; matuojame ją

$$\frac{\text{din}}{\text{cm}} \quad \text{arba} \quad \frac{\text{erg}}{\text{cm}^2}.$$

Paviršiaus įtempimą galima surasti šiais būdais.

1. Muilo plėvele

Prie stačiu kampu sulenktos storesnės vielos *ABC* (fig. 37) prilydoma plona vielelė *BD* apie 10 cm ilgio, o prie šios galų pritaisoma du vašeliai *Bb* ir *Dc* apie 1,5 cm ilgio. Jais laisvai slankioja plona viela $\alpha\beta$ su lėkštele *W*.

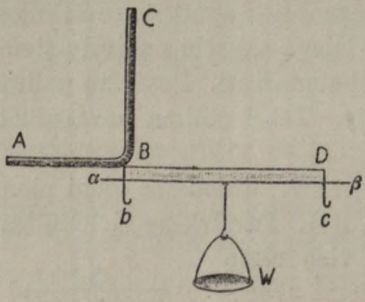

Fig. 37.

Įsmeigę vielą *AB* į kamštį, visą prietaisą pasukame taip, kad *CB*, o kartu ir *Bb* ir *Dc*, būtų gulsčioje padėtyje. Pristūmę vielą $\alpha\beta$ prie *BD* ir palikdami tarp jų tik nedidelį tarpą, perbraukiame abi pamirkytu muilo tirpale teptuku ir atsargiai prietaisą pasukame į figūroje parodytą stačią padėtį. Ant lėkštelės *W* tol dedame atsargiai svarelius, kol plėvelė plyšta. Išmatuojame vielelės $\alpha\beta$, lėkštelės *W* ir padėtų svarelių svorį *p*, vielelės *BD* ilgį *l* ir, gautus davinius įstatę į formulą

$$T = \frac{p}{2l},$$

išskaičiuojame paviršiaus įtempimo konstantą *T* šiais vienetais:

$$\frac{\text{din}}{\text{cm}} \quad \text{arba} \quad \frac{\text{erg}}{\text{cm}^2}.$$

2. Svarstyklėmis.

Paviršiaus įtempimo konstantą galime išmatuoti įvairiomis svarstyklėmis: paprastomis, Jolly (žrk. § 13,4) arba Mohr'o Westphal'io (žrk. § 13,3).

Po viena svarstyklių lėkštele pakabiname ploną 2,5 cm skersmens platinuotą plokštelę ir nustatome svarstyklių pusiausvyrą. Tiriamojo skysčio paviršių paliečiame plokštele, o ant antros svarstyklių lėkštelės tol dedame svarelius, kol plokštelė nutruks nuo skysčio paviršiaus. Jei uždėtų svarelių svoris p dinų, o plokštelės briaunos ilgis l cm, tai

$$T = \frac{p \text{ din}}{2l \text{ cm}}.$$

Išmatavę p ir l, išskaičiuojame konstantą T.

Jolly svarstyklėmis konstantą T tokiu būdu surandame. Prie svarstyklių spyruoklės pakabiname plokštelę ir nustatome jų spyruoklės konstantą, t. y. spyruoklės pailgėjimą tempiant ją 1 g (žrk. § 13,4). Paskui plokštele paliečiame tiriamojo skysčio paviršių ir indą su skysčiu tol pamažu leidžiame žemyn, kol plokštelė nutruks nuo skysčio paviršiaus. Išmatuojame spyruoklės pailgėjimą ir, padalinę jį iš spyruoklės konstantos, surandame jėgą p, veikiančią spyruoklę. Išmatuojame taip pat plokštelės briaunos ilgį l, ir, įstatę davinius į aukščiau minėtą formulą, išskaičiuojame paviršiaus įtempimo konstantą T.

Panašiu būdu nustatome paviršiaus įtempimo konstantą ir Mohr'o Westphal'io svarstyklėmis. Ant svarstyklių kabelio (žrk. § 13,3) pakabiname ploną platinuotą plokštelę ir ant svirties dedame tiek svarelių, kad svarstyklės būtų pusiausvyroje. Tuomet tiriamojo skysčio paviršių paliečiame plokštele ir nuo svirties tiek nuimame svarelių, kad plokštelė atitrūktų nuo paviršiaus. Čia išmatuojame uždėtų svarelių svorį p, plokštelės briaunos ilgį l ir iš formulos (4) išskaičiuojame konstantą T.

Išskaičiuotos konstantos klaida:

$$\pm \Delta T = \pm T \left(\frac{\Delta p}{p} + \frac{\Delta l}{l} \right)$$

* *
*

Kai skystis liečia kietą kūną, tai abiejų kūnų molekulos veikia viena kitą tam tikra jėga. Jei ši jėga didesnė, kaip skysčio molekulų kohezijos jėga, skystis šlapina kietą kūną ir pa-

kyla prie jo į viršų, jei mažesnė — skystis nešlapina ir yra nuslėgiamas žemyn. Panertame vienu galu skystin siaurame vamzdelyje, arba kapiliare, skystis žymiai pakyla į viršų tada, kai jis šlapina kapiliaro sieneles; atvirkščiai, kai skystis nešlapina sienelių, tai jis kapiliare stovi žemiau, kaip didesniame inde. Pirmajam atsitikime skysčio paviršius kapiliare yra įgaubtas (fig. 38), antrajame — išgaubtas (fig. 39).

Fig. 38.

Fig. 39.

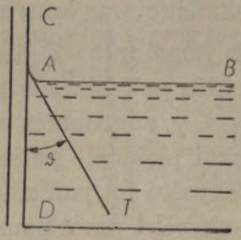

Fig. 40.

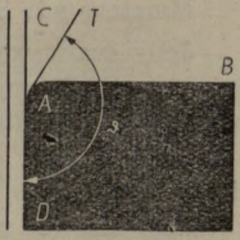

Fig. 41.

Svarbu žinoti kampą ϑ, kuriuo skysčio paviršiaus AB kapiliare liečiamoji AT kerta kapiliaro sienelę. Tobulai šlapinantiems skysčiams $\vartheta = 0$; šiek tiek šlapinantiems $\vartheta < 90^0$ ir nešlapinantiems $\vartheta > 90^0$. Tatai ryškiai matyti iš figūros 40 ir 41. Liečiamosios kryptis rodo kapiliarinės jėgos kryptį. Kai $\vartheta > 0$, šios jėgos kryptis nesutampa su kelio kryptim, kuriuo gali slinkti skystis, ir veikianti dedamoji AC yra lygi: $AC = AT \cos \vartheta$. Ši jėga iškelia kapiliare skysčio stulpelį, atsverdama jo svorį. *Kapiliarinę jėgą, apskaitytą skysčio ir kieto kūno lietimosi linijos 1 cm ilgiui, vadiname kapiliarine konstanta T.*

Paviršiaus įtempimo konstanta ir kapiliarinė konstanta yra ta pati ir gali būti išreikšta $\frac{\text{erg}}{\text{cm}^2}$ arba $\frac{\text{din}}{\text{cm}}$.

Nagrinėjant skysčių paviršius dažniausiai kalba apie paviršiaus įtempimo konstantą, o kapiliariniuose reiškiniuose — apie kapiliarinę konstantą.

Pažymėję kapiliaro stipiną r, pakeliamo arba nuslėgiamo skysčio stulpo aukštį — h, skysčio lyginamąjį svorį — s, gauname tokią pareinamybę:

$$2\pi r\, T \cos \vartheta = \pi r^2 h\, s. \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (5)$$

Kairėje lygties pusėje yra kapiliarinė jėga, o dešinėje — pakilusio (arba nuslūgusio) skysčio stulpo svorio jėga. Iš lygties (5) gauname:

$$T = \frac{r\,h\,s}{2\cos\vartheta} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (6)$$

Kai skystis tobulai šlapina kapiliaro sieneles ($\vartheta = 0^0$ ir $\cos 0^0 = 1$), tuomet

$$T = \frac{r\,h\,s}{2} \frac{\text{din}}{\text{cm}} \quad \text{arba} \quad \frac{\text{erg}}{\text{cm}^2} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (6a)$$

Skysčių kapiliarinę konstantą surandame įvairiais būdais.

3. Matuojant skysčio pakilimo aukštį

Paimame ploną kapiliarą, jį gerai išplauname koncentruota sieros rūgštim ir spiritu, sušlapiname tiriamu skysčiu, pritvirtiname prie milimetrinės skalos ir įstatome jį į tiriamąjį skystį. Fig. 42 *G* yra kapiliaras, *S* — skala, *γ* — tiriamasis skystis. Kai skystis šlapina kapiliaro sieneles, tai jis pakyla į viršų. Skaloje atskaitome pakilusio skysčio stulpo aukštį *h* nuo skysčio paviršiaus iki menisko. Indą *W* paprastai pripilame pilną skysčio, kad jo sienelės nekliudytų atskaitinėti. Tyrimui dažniausiai parenkame tokius skysčius, kurie šlapina kapiliarą, kaip antai, vandenį, spiritą, žibalą ir k. Šiuose atsitikimuose kapiliarinę konstantą išskaičiuojame iš formulos (6a).

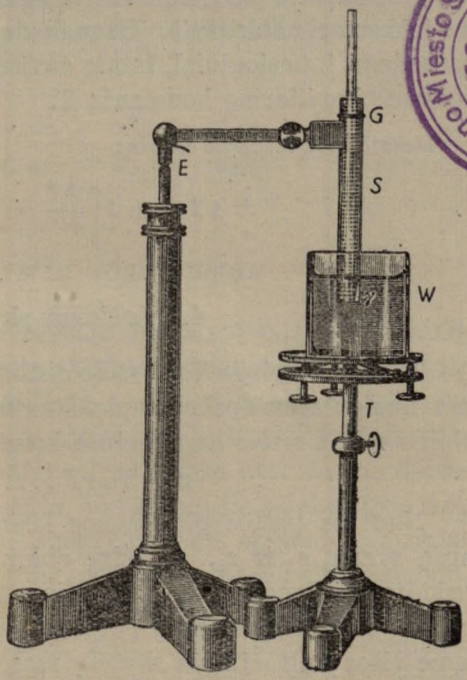

Fig. 42.

Kauno Miesto Savivaldybės Vincas Kudirkos SKAITYKLA

Skysčio pakilimo aukštį kartais galime matuoti ir tokiu būdu. Kapiliaras *k* viršuje pasibaigia platesniu *T* pavidalo vamzdeliu, vieną jo šaką sujungiame su manometru *M*, o antrą — su gaubtuvu *D* (fig. 43). Išplovę kapiliarą, į indą *C* įpilame tiriamojo skysčio, į *L* — paprasto vandens; indą *C* tiek pakeliame, kad abiejuose induose skysčių paviršiai būtų vienam lygyje. Manometrą *M* pripilame vandens iki nulinio skalos padalinimo. Įleidę kapiliarą į tiriamąjį skystį apie 2 mm, gaubtuvą *D* leidžiame į vandenį tol, kol kapiliare pakilęs skystis nuslėgiamas iki skysčio paviršiaus inde *C*. Tuomet atskaitome skysčio paviršių aukščių skirtumą manometre; tatai ir bus ieškomasis aukštis *h*. Kitus davinius taip surandame, kaip matuodami *h* tiesioginiai. Įstatę davinius į formulą (6a), išskaičiuojame kapiliarinę konstantą *T*.

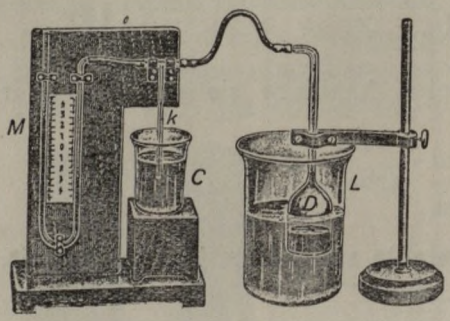

Fig. 43.

Išskaičiuoto rezultato klaida:

$$\pm \Delta T = \pm T\left[\frac{\Delta r}{r} + \frac{\Delta h}{h}\right].$$

4. Lašinant skystį

Tobulai šlapinančio skysčio didžiausias lašo svoris *p*, lašant jam nuo gulsčios apskritos plokštumos, pareina nuo plokštumos stipino *r* ir skysčio kapiliarinės konstantos *T*.

$$p = 2\pi rT \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

Nuo tos pačios plokštumos lašiname du skysčius lyginamųjų svarių s_1 ir s_2. Išlašinę abiejų skysčių vienodą tūrį *V*, suskaitome vieno ir antro skysčio nukritusių lašų skaičius Z_1 ir Z_2. Pažymėję skysčių pavienių lašų svorius p_1 ir p_2, randame visos nulašėjusios skysčių masės svorius:

$$\begin{aligned} Z_1 p_1 &= s_1 V = Z_1 . 2\pi r T_1 \\ Z_2 p_2 &= s_2 V = Z_2 . 2\pi r T_2 \end{aligned} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

Čia T_1 ir T_2 yra atitinkamai skysčių kapiliarinės konstantos. Padalinę lygtis panariui, gauname:

$$\frac{Z_1}{Z_2} = \frac{T_2 s_1}{T_1 s_2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3)$$

Kai vieno skysčio kapiliarinė konstanta žinoma, tai lengva surasti ir antrojo. Imant žinomu vandenį ($s_1 = 1$ ir $T_1 = 72{,}8 \frac{\text{din}}{\text{cm}}$, gauname:

$$T_2 = \frac{Z_1 \cdot T_1 s_2}{Z_2 s_1} = 72{,}8\, s_2 \cdot \frac{Z_1}{Z_2} \left(\frac{\text{din}}{\text{cm}}\right) \ldots\ldots (3a).$$

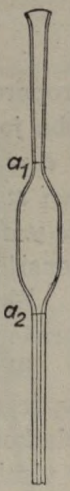

Fig. 44.

Matavimui naudojame pipetę (fig. 44) su dviem žymėm a_1 ir a_2. Iš pradžių įtraukiame pipetėn vandens iki a_1 ir lašiname jį skaitydami lašus, kol jis nutekės iki a_2. Vėliau tą pat padarome su tiriamuoju skysčiu. Įstatę gautus davinius į formulą (3a), išskaičiuojame tiriamojo skysčio kapiliarinę konstantą.

Išskaičiuoto rezultato klaida:

$$\pm \Delta T = \pm T \left[\frac{\Delta s_2}{s_2} + \frac{\Delta Z_1}{Z_1} + \frac{\Delta Z_2}{Z_2}\right].$$

§ 20. Skysčių klampumas

Sakysim, kad turime skysčio sluoksnių eilę. Viršutinis skysčio sluoksnis AB slenka bet kuriuo greičiu dešinėn, apatinis CD pasilieka vietoje (fig. 45); tarp šių dviejų kraštutinių gulį visi kiti skysčio sluoksniai taipgi slenka dešinėn tuo didesniu greičiu, kuo arčiau jie randasi prie AB. Taigi, atskiri gretimi skysčio sluoksniai pasistumia, pašliaužia vienas kito atžvilgiu. Bet gretimi sluoksniai yra sukibę, todėl sluoksniams pasistumiant sukeliama trinčiai panaši jėga, kuri kliudo sluoksniams pasistumti. Ši jėga vadinasi skysčių klampis arba jų vidaus trintis. Ji yra tiesiog proporcinga sluoksnių paviršiaus plotui f ir greičio gradientui — nutolusių 1 cm sluoksnių greičių

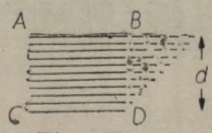

Fig. 45.

skirtumui. Kai bet kurio sluoksnio greitis yra v, o nutolusio d cm nuo jo antro sluoksnio — v_2, tai greičio gradientas yra $\frac{v_1 - v_2}{d}$. Taigi, kalbamoji jėga:

$$K = \eta f \frac{v_1 - v_2}{d} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

Proporcingumo veiksnį η vadiname skysčio klampio moduliu arba jo vidaus trinties koeficientu. Kai $f = 1$, $v_1 - v_2 = 1$ ir $d = 1$, $K = \eta$; taigi, *klampio modulis išreiškiamas jėga, kuri sukeliama skysčių sluoksniams pasistumiant, kada jų plotas yra 1 cm² ir greičio gradientas lygus vienetui.* Modulio dimensija: [g cm^{-1} sek^{-1}].

Skysčio klampio modulį matuojame įvairiais būdais. Čia aprašomas Poiseuille'o būdas.

Skysčiui bėgant ilgu plonu vamzdžiu, arčiau vamzdžio ašies esą ir greičiau bėgą skysčio sluoksniai dėl vidaus trinties jėgų sulaikomi lėčiau tekančių, toliau nuo vamzdžio ašies beesančių, ir visai stovinčių prie vamzdžio sienelių sluoksnių, kai skystis šlapina vamzdžio sieneles (pvz., vanduo stiklą). Patirta, kad išbėgančio iš kapiliarinio vamzdžio skysčio tūris V yra tiesiog proporcingas bėgimo laikui t, slėgmui p, vamzdžio skersinio piūvio ploto q antrajam laipsniui ir atvirkščiai proporcingas kapiliaro ilgiui l ir klampio moduliui η. Proporcingumo veiksnys $^1/_{8\pi}$. Taigi,

$$V = \frac{q^2 pt}{8\pi l\eta} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

Čia slegia paties skysčio stulpas; jei jo aukštis yra h, skysčio tankis s, tai skysčio masė stulpelyje $m = qhs$; jos svoris $mg = qhsg$, ir slėgimas (jėga arba svoris į ploto vienetą)

$$p = hsg.$$

Kapiliarinio vamzdžio skersinio piūvio plotas $q = \pi r^2$, kur r — vamzdžio stipinas. Taigi,

$$V = \frac{\pi r^4 hsgt}{8l\eta} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3)$$

ir

$$\eta = \frac{g\pi r^4 hst}{8lV} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (4)$$

Visi dydžiai matuojami pamatiniais vienetais (g cm sek). Klampio modulį galime išreikšti ne masės, bet svorio vienetais. Svorio vienetas gramas savo skaitine verte yra g kartų didesnis (g=981), tai svorio vienetais išreikštas klampis bus tiek kartų mažesnis, kaip kad išreikštas masės vienetais.

Skysčių klampio moduliui surasti vartojame Arrhenius'o aparatą. Pamatinė aparato dalis — kapiliarinis vamzdelis *ab* (fig. 46), kuris dažnai įstatomas į keturkampį indą su vandeniu arba bet kuriuo kitu žinomos temperatūros skysčiu, kai ieškomi įvairių temperatūrų skysčių klampio moduliai. Taip matuojame. Iš pradžių nustatome kapiliaro ilgį l nuo a iki b ir vamzdžio tūrį nuo žymės m iki b. Pastarąjį tokiu būdu surandame. Į vamzdį pritraukiame vandens (arba gyvojo sidabro) iki žymės m, leidžiame jam nubėgti iki b į menzurę ir išmatuojame tūrį, arba pasveriame nubėgusį skystį. Kapiliaro stipiną išmatuojame komparatorium. Tada gerai išvalome kapiliarą ir indą F, į kurį įpilame tiriamą skystį iki žymės e. Užmovę ant viršutinio vamzdžio galo guminį vamzdelį l, įtraukiame į vamzdį skysčio iki žymės m ir paleidžiame bėgti; sekundiniu laikrodžiu matuojame laiką, kol skystis išbėgs pro kapiliarą, taigi, kol skysčio paviršius nukris iki b. Tai kartojame kelis (4—5) kartus ir imame gautų davinių aritmetišką vidurkį.

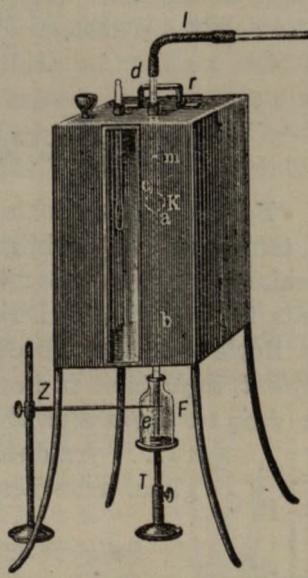

Fig. 46.

Pradinis skysčio slėgimas p_1 lygus skysčio stulpelio me slėgimui, galinis p_2 — stulpelio ae slėgimui. Kadangi jis tyrimo metu kinta, tai imame jo vidutinę vertę $\frac{p_1+p_2}{2}$. Bendrai, $p = h s_1$, kur h skysčio stulpo aukštis, s_1 jo lyginamasis svoris. Jeigu imame vandenį, tai s_1=1 ir tuomet $p = \frac{h_1 + h_2}{2} = h$,

h_1, h_2 ir h — atitinkamai pradinis, galinis ir vidutinis vandens stulpelio aukščiai.

Visus išmatuotus davinius įstatome į formulą (4) ir išskaičiuojame η.

Įvertiname atskirų matavimų bei išskaičiuoto η klaidą $\pm \Delta \eta$, kur

$$\pm \Delta \eta = \pm \eta \left[\frac{4 \Delta r}{r} + \frac{\Delta h}{h} + \frac{\Delta t}{t} + \frac{\Delta l}{l} + \frac{\Delta V}{V} \right].$$

§ 21. Boyle'o - Mariotte'o dėsnis

Bet kuris dujų kiekis visuomet užpildo užimamą tūrį. Taigi, tam tikrą dujų kiekį galima patalpinti didesniame arba mažesniame tūriuose. Stebėjimai rodo, kad keičiant dujų tūrį, kinta ir jų slėgimas. Dujų tūrio ir slėgimo pareinamybę aptaria Boyle'o - Mariotte'o dėsnis; jis sako, kad *temperatūrai nekintant, dujų tūrio ir slėgimo sandauga yra pastovus dydis* arba *dujų tūris yra atvirkščiai proporcingas slėgimui.* Jei v_0, v_1, v_2.... yra dujų tūriai, p_0, p_1, p_2.... atitinkami slėgimai arba jiems proporcingi dydžiai, tai

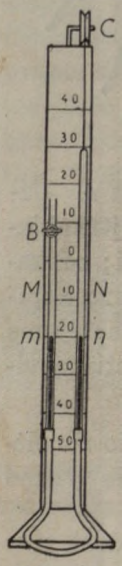

Fig. 47.

$$p_0 v_0 = p_1 v_1 = p_2 v_2 .... = const \quad \text{arba}$$

$$\frac{p_0}{p_1} = \frac{v_1}{v_0}; \frac{p_0}{p_2} = \frac{v_2}{v_0}.$$

Reikia pastebėti, kad šį dėsnį visiškai tiksliai teseka tobulos dujos; visoms realioms dujoms jis tinka tik apytiksliai ir tinka tuo geriau, kuo dujų tankumas mažinant slėgimą tampa mažesnis, kitaip tariant, kuo dujų būvis yra toliau nuo skystėjimo būvio. Taigi, Boyle'o - Mariotte'o dėsnis sunkiau skystinamoms dujoms, k. a. vandeniliui, heliui, tinka geriau, o lengviau skystinamoms — blogiau.

Boyle'o-Mariotte'o dėsnį galima patikrinti Weinhold'o aparatu (fig. 47). Jį sudaro aukšta 2—3 metrų sija su skalos padalinimais. Prie sijos pritaisyti du stikliniai vamzdžiai: apatiniai jų galai sujungti tarp savęs guminiu vamzdžiu, taigi, šie stikliniai vamzdžiai sudaro susisiekiamus indus. Kairysis vamzdis M yra nejudomai pritvirtintas prie sijos ir turi čiaupą B; dešinįjį N su atdaru viršutiniu galu galima kilnoti aukštyn ir žemyn, trau-

kiant virvutę, kurios vienas galas pririštas prie vamzdžio, o kitas permestas per skridinį *C*. Į vamzdžius *M* ir *N* pripilta gyvojo sidabro, *m* ir *n* — jo meniskai abiejuose vamzdžiuose.

Iš pradžių turime surasti oro slėgimą. Atidarome čiaupą *B* ir vamzdį *N* keliame aukštyn, kol gyvasis sidabras vamzdyje *M* pakils kiek aukščiau čiaupo; tuomet iš vamzdžio *M* bus išvarytas visas oras. Uždarę čiaupą *B*, vamzdį *N* leidžiame tiek žemyn, kad ir vamzdyje *M* gyvasis sidabras nukristų šiek tiek žemiau čiaupo ir gautųsi Toricelli'o tuštuma. Atskaitome meniskų *m* ir *n* aukštį skaloje. Oro slėgimą atsveriančio gyvojo sidabro stulpo aukštis P_0 proporcingas pačiam oro slėgimui ir yra lygus

$$P_0 = m - n.$$

Išmatuotą gyvojo sidabro stulpo aukštį palyginame su barometro aukščiu; jei pasirodytų, kad daviniai žymiai skiriasi (daugiau kaip 0,5—1 cm), matavimą pakartojame, stengdamiesi prašalinti visas šį skirtumą sukeliančias priežastis, pvz., pasistengdami prašalinti oro likučius *M* vamzdyje, patikrindami, ar čiaupas ir kitos aparatūros dalys yra sandarios ir t. t.

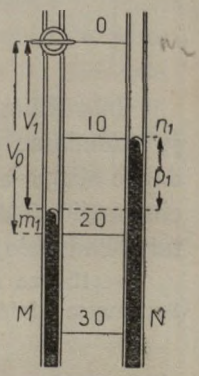

Fig. 48.

Toliau tikriname Boyle'o Mariotte'o dėsnį. Atidarę čiaupą, vamzdį *N* taip nustatome, kad meniskai *m* ir *n* stovėtų vienoje aukštumoje, pvz., ties 20 padalinimu. Uždarę čiaupą, vamzdį *N* keliame aukštyn, kol meniskas *n* pakyla iki n_1, n_2, n_3 ir t. t. (pvz., 10, 0 ir t. t.) padalinimo, o meniskas *m* — atitinkamai iki m_1, m_2, m_3 ir t. t. (fig. 48). Bet kurį kartą nustatome uždarytų dujų tūrį ir dujų slėgimą atsveriančio gyvojo sidabro stulpo aukštį.

Pirmajam atsitikime dujų tūris V_0 (= 20 cm^3, kai vamzdžio skersinio piūvio plotas lygus 1 cm^2, skalos padalinimai — 1 cm; kituose atsitikimuose atskaityti padalinimai proporcingi dujų tūriui), gyvojo sidabro stulpo aukštis — P_0; antrajam — V_1 ir aukštis $P=P_0+p_1$, kur p_1 yra meniskų *n* ir *m* aukščių skirtumas, $p_1 = n_1 - m_1$, trečiajame — tūris V_2, aukštis $P_2 = P_0 + p_2$, kur $p_2 = n_2 - m_2$ ir t. t. Taip padarome 4—5 tyrimus.

Paskui vėl atidarome čiaupą ir nustatome m ir n ties 20.

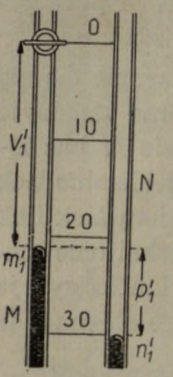

Fig. 49.

Uždarę čiaupą, vamzdį N leidžiame žemyn, kol meniskas n sustos ties n_1^1, (pvz., ties 30). o m — ties m_1^1 (fig. 49), pasižymime oro tūrį V_1^1 ir atitinkamą gyvojo sidabro stulpo aukštį $P_1^1 = P_0 - p_1^1$, kur $p_1^1 = m_1^1 - n_1^1$; vėliau vamzdį leidžiame dar žemiau, kol meniskas n sustos ties n_2^1, o meniskas m — ties m_2^1; atskaitome tūrį V_2^1 ir aukštį $P_2 = P_0 - p_2^1$, kur $p_2^1 = m_2^1 - n_2^1$ ir t. t.

Padarome 4—5 tyrimus.

Išmatuotus davinius surašome į tokią lentelę:

P_0	m vieta	n vieta	V	p	$P = P_0 \pm p$	$P \times V$	Pastaba

Išbrėžiame PV kreivę; vienoj stačiakampių koordinatų ašyje atidedame proporcingus uždaryto oro slėgimams gyvojo sidarbo stulpo aukščius P, antroje — pačius tūrius arba proporcingus jiems dydžius V. Per gautuosius taškus išvedame kreivę taip, kad abiejose jos pusėse atsirastų vienodas taškų skaičius.

Įvertiname atskirų matavimų bei apskaičiuotų rezultatų klaidas. Sandaugos klaida

$$\pm\Delta(PV) = \pm PV\left(\frac{\Delta V}{V} + \frac{\Delta P}{P}\right).$$

§ 22. Barometras

Vienam gale uždarą apie 90 cm ilgio stiklinį vamzdį pripilame gyvojo sidabro. Pridengę plokštele, apverčiame jį ir paneriame į indą su gyvuoju sidabru; išėmus plokštelę, gyvasis sidabras vamzdyje šiek tiek paslenka žemyn, palikdamas viršuje tuštumą, bet jo meniskas pasilieka pakilęs žymiai (apie 76 cm) aukščiau, kaip pačiame inde n (fig. 50). Iškilusio vamz-

dyje gyvojo sidabro stulpelio svoris atsveria oro slėgimą. Šiuo principu dirbami barometrai — prietaisai oro slėgimui matuoti.

Gyvojo sidabro barometrą sudaro stiklinis vamzdis su pritvirtinta prie jo metrine liniuote — skala gyvojo sidabro stulpelio aukščiui matuoti (fig. 51). Vamzdis pripildomas gyvojo sidabro ir apvertus įstatomas į dubenėlį su gyvuoju sidabru. Oro slėgimui kintant, keičiasi gyvojo sidabro stulpelio paviršių aukščiai ir vamzdyje, ir dubenėlyje, ir skalos nulinis padalinimas nebesutampa su dubenėlio gyvojo sidabro paviršium. Todėl kai kurie barometrai turi kilnojamą skalą; kitų gi dubenėlio indas turi lankstų dugną, į kurį įsiremia sraigtas *S*; jį sukinėdami pakeliame arba nuleidžiame patį dugną, taigi, ir gyvojo sidabro paviršių tiek, kad šis vos liestų skalos nulinę žymę — stiklinį smaigalį *d*.

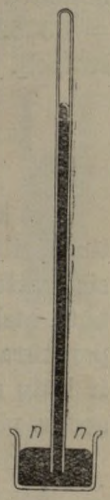

Fig. 50.

Šiauresniuose vamzdžiuose žymiau pasireiškia kapiliarinė depresija. Jai sumažinti barometro viršutinis ir apatinis vamzdžio galai išplečiami; be to, apatinis dar užlenkiamas *U* raidės pavidalu. Šis atviras galas ir pavaduoja indą. Toks sifoninis barometras dažniausiai aprūpinamas kilnojama skala, kuri tiek pakeliama arba nuleidžiama, kad nulinis skalos padalinimas būtų ties apatiniu gyvojo sidabro paviršiumi.

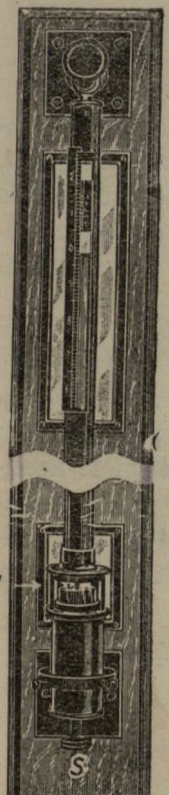

Fig. 51.

Oro slėgimą atsveriančio gyvojo sidabro stulpelio aukštis, išmatuotas normaliose sąlygose — esant 0°C *temperatūrai, jūrų paviršiaus lygyje ir* 45° *geogr. platume* (kur g = 980,621 cm/sek²), *vadinasi barometro aukštis.*

Oro slėgimą matuojame barais (b). Baras yra vienos dinos slėgimas į 1 cm² paviršių. Kai barometro aukštis yra, sakysim, 76 cm, tai oro slėgimas

$$p = 76.13{,}6.981 = 1013961{,}6 \text{ b.}$$

Čia 13,6 — gyvojo sidabro tankis, $981 = g$ — laisvai krintančio kūno greitėjimas.

Meteorologijoje oro slėgimas taipgi matuojamas barais, bet šis baras yra lygus 10^6 dinų slėgimui į 1 cm^2; 0,001 b vadiname milibaru (μb), 1 mm aukščio gyvojo sidabro stulpelio slėgimas = 1.3332 μb, 1 μb atitinka 0,75008 mm aukščio gyvojo sidabro stulpelį.

1. Barometro aukščio pataisos

Bet kuriose sąlygose atskaitytas gyvojo sidabro stulpo aukštis neatitinka aukščiau nusakytą barometro aukštį; atskaitytasis aukštis reikia pataisyti, kitaip tariant, reikia surasti, koks būtų atskaitytasis gyvojo sidabro stulpelio aukštis, jei 1) temperatūra būtų 0° C, 2) visiškai nebūtų kapiliarinės depresijos ir būtų matuojama 3) jūrų paviršiaus lygyje, 4) 45° laipsnių geogr. platumo.

a) Temperatūros pataisa.

Paprastai barometrą atskaitome esant kokiai nors t^0 temperatūrai, o reikia atskaityti — 0° C. Temperatūrai kylant, gyvasis sidabras skečiasi, darosi retesnis, todėl tik aukštesnis jo stulpelis tepajėgia atsverti oro slėgimą. Gyvojo sidabro skėtimosi koeficientas β=0,000182. Kai esant t^0 temperatūrai barometro aukštis yra h, tai prie 0° C aukštis

$$h_0 = h\ (1 - \beta t).$$

Šildoma skečiasi, pailgėja ir aukščiui matuoti skala, jos padalinamai didėja. Taigi, reikia ir jos parodymai pataisyti 0°C temperatūrai. Kai skalos medžiagos linijinis skėtimosi koeficientas yra γ, tai, temperatūrai pakilus nuo 0° iki t^0, skalos vienetas pailgėja γt; visas atskaitomas skalos aukštis pailgėja $h\gamma t$; tiek atskaitytas aukštis būtų didesnis, jei skala turėtų 0° C temperatūrą. Todėl

$$h_0 = h\ (1 - \beta t) + h\gamma t = h\ [1 - (\beta - \gamma)t].$$

Turint žalvarinę skalą

$$h_0 = h(1 - 0{,}000163t),$$

čia t — kambario temperatūra.

Pataisos vertės įvairiems barometro aukščiams ir temperatūroms surašytos lentelėje 6.

b). Kapiliarinės depresijos pataisa.

Gyvasis sidabras nešlapina stiklo vamzdžio sienelių, todėl kapiliarinės jėgos, slėgdamos gyvojo sidabro paviršių žemyn, veikia prieš oro slėgimą ir šiek-tiek sumažina barometro aukštį. Išmatavę gyvojo sidabro menisko aukštį cd (fig. 52), kapiliarinę depresiją surandame lentelėje 7, paėmę tinkamą barometro vamzdžio vidaus skersmenį. Surastą davinį pridedame prie h_0.

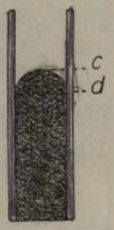

Fig. 52.

c). Vietos aukščio pataisa.

Oro slėgimas pareina nuo matuojamos vietos aukščio. Kuo aukštesnė vieta, tuo mažesnis oro slėgimas. Barometro aukščiai visuomet pataisomi jūrų paviršiaus lygiui. Pažymėsime pareinantį nuo vietos pakilimo virš jūros lygio barometro aukščio pasikeitimą $\triangle h$, o patį barometro aukštį h; šiuos dydžius sieja tokia pareinamybė:

$$\triangle h = k\,h.$$

Konstantą k surandame lentelėje 8. Reikia tik žinoti matuojamos vietos aukštis nuo jūros lygio (Kaune, Fiz.-Ch. Inst. fiz.-lab. apie 90 m) ir oro temperatūra lauke. Surastoji pataisa $\triangle h$ reikia pridėti.

d). Vietos geografinio platumo pataisa.

Einant nuo pusiaujo ašigalio link kūnų svoris didėja. Dėl to barometro gyvojo sidabro stulpelio svoris, taigi, ir jo aukštis pareina nuo matavimo vietos geografinio platumo φ. Norėdami įvairių vietų oro slėgimus lyginti, barometro aukščius pataisome tokiai svorio jėgai, kokią turime 45° geografiniam platume. (Kauno geografinis platumas $\varphi = 54°54'$). Žinodami barometro aukštį ir vietos geogr. platumą, lentelėje 9 surandame pataisą ir ją pridedame prie h_0.

2. Vietos aukščio matavimas barometru

Bet kurioje vietoje oro slėgimas pareina nuo oro sluoksnio aukščio ir jo tankio, pastarasis savo keliu pareina nuo slėgimo ir temperatūros. Kylant aukštyn, slėgimas mažėja, mažėja ir barometro aukštis. Išmatavus tuo pačiu laiku, arba bent ne-

dideliame tarpe, dviejose įvairaus aukščio vietose barometro aukštį, galima rasti abiejų vietų aukščių skirtumą h. Abi matuojamos vietos turi būti netoli viena antros. Kai žemesnėje vietoje pataisytas barometro aukštis h_0, temperatūra — $t_0{}^0$, o aukštesnėje atitinkamai h_1 ir $t_1{}^0$, tai abiejų vietų aukščių skirtumas h išreiškiamas tokia formula:

$$h=18420(1+0{,}004t)(\log h_0 - \log h_1)\ , \ldots\ldots\ldots (1)$$

čia $t={}^1/_2(t_0+t_1)$. Kuomet aukščių skirtumas mažesnis už 1000 m, vartojama ši suprastinta formula:

$$h=16000\ (1+0{,}004t)\ (h_0 - h_1)/(h_0+h_1) \quad \ldots\ldots (1a)$$

Darbą taip atliekame. Imame gyvojo sidabro barometrą ir termometrą, nueiname geriausiai į šiaurinę namo pusę ir, kiek palaukę, atskaitome barometro aukštį $h_0{}^1$ ir temperatūrą t_0. Prieš atskaitydami, barometrą pabarškiname pirštu, termometrą pajudiname ore. Paskui lipame į namo viršų ir vėl atskaitome barometro aukštį $h_1{}^1$ ir temperatūrą t_1. Temperatūrą atskaitinėjame tik lauke arba už lango. Gautus barometro aukščius pataisome ir gauname h_0 ir h_1; paimame abiejų temperatūrų aritmetišką vidurkį. Iš formulos (1a) išskaičiuojame h, įstatę į ją surastus davinius. Gautąjį rezultatą patikriname tiesioginiai išmatuodami, jei galima, matuojamųjų vietų aukščių skirtumą. Tyrimą atlikdami prie kalno, matavimus darome pakalnėje ir ant kalno.

Įvertiname rezultato klaidą $\pm\Delta h$, kur

$$\pm\Delta h = \pm h\left[\frac{0{,}004\cdot\Delta t}{(1+0{,}004t)} + \frac{\Delta h_0+\Delta h_1}{h_0-h_1} + \frac{\Delta h_0+\Delta h_1}{h_0+h_1}\right].$$

Temperatūros matavimo klaida paprastai yra nedidelė ir ją galime atmesti.

3. Oro slėgimo suradimas hipsometru

Vandens virimo temperatūra pareina nuo oro slėgimo. Slėgimui didėjant, kyla ir vandens virimo temperatūra ir atvirkščiai. Žinant, kokia yra verdančio vandens garų temperatūra esant įvairiems slėgimams, galima nustatyti oro slėgimą, tiksliai išmatavus verdančio vandens garų temperatūrą. Pastaroji turi būti išmatuota bent 0,01°C tikslumu.

Hipsometras susideda iš tikslaus termometro T ir uždaryto indo A su vandeniu. Vandens garai išeina per siaurą vamzdelį r. S yra šildymo prietaisas (fig. 53). Vandenį viriname bent 5 minutes ir atskaitome termometro rodomą temperatūrą. Lentelėje 10 surandame atskaitytą temperatūrą atitinkantį slėgimą arba barometro aukštį (mm). Norėdami šį palyginti su barometro rodomu aukščiu, turime pastarąjį išskaičiuoti 0^oC temperatūrai.

§ 23. Dujų ir garų tankis ir molekulinis svoris

Absoliutiniu dujų (arba garų) tankiu d_1 *vadiname dujų masės* m *ir jų tūrio* v *santykį, taigi,* $d_1 = \frac{m}{v}$. *Lyginamuoju dujų tankiu* d *vadiname jų absoliutinio tankio santykį su oro abs. tankiu* d_0, vadinasi,

$$d = \frac{d_1}{d_0} = \frac{1}{d_0} \cdot \frac{m}{v}.$$

Seniau chemijoje dujų arba garų tankį lygindavo su vandenilio dujų tankiu. Kadangi lyginamasis vandenilio dujų tankis oro atžvilgiu yra 0,0695, tai, surastą oro atžvilgiu dujų arba garų tankį, padalinę iš 0,0695 gauname dujų arba garų tankį vandenilio atžvilgiu. Dabar dažniausiai dujų arba garų tankį lyginame su deguonio dujų tankiu, kuris prilyginamas 16.

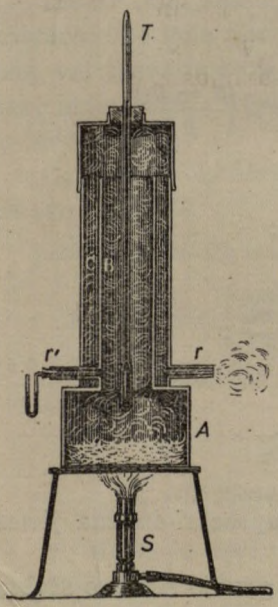

Fig. 53.

Avogadro taisyklė sako, kad prie tos pat temperatūros ir slėgimo vienoduose tūriuose telpa tas pat įvairių molekulų skaičius. Vadinasi, dujų arba garų tankiai santykiuoja taip, kaip jų molekuliniai svoriai. Bet kurio cheminio junginio molekulinis svoris yra lygus junginin įeinančių elementų atominių svorių sumai. Elemento atominis svoris parodo, kiek kartų bet kurio elemento svoris yra didesnis už deguonio atomo $^1/_{16}$ svorio dalį.

Lyginamieji garų tankiai ieškomi dvejopu keliu: arba sveriama tam tikrame išmatuotame tūryje esančių garų masė (Dumas'o metodas), arba matuojamas žinomos garų masės tūris (Gay Lussac'o, V. Meyer'io metodai). Pastarasis metodas taikomas tuomet, kada tiriamoji medžiaga normaliose sąlygose yra skysta.

1. Absoliutinis oro tankis

Esant temperatūrai t^0 ir slėgimui p bet kuriame tūryje V turima oro masė m; jo tankis d. Pašalinus iš šio tūrio tiek oro, kad slėgimas sumažėtų iki p_1, jame beliks oro masė m_1; jo tankis bus d_1. Kai oro temperatūra nesikeičia, tai pagal Boyle'o Mariotte'o dėsnį

$$\frac{m}{m_1} = \frac{d}{d_1} = \frac{p}{p_1}.$$

Tegu antram atsitikime oro masė, taigi ir jo tankis, yra n kartų mažesnis už pirmą; tuomet

$$\frac{m}{m_1} = \frac{d}{d_1} = \frac{p}{p_1} = n.$$

Oro tankio pakitimas

$$d - d_1 = d - \frac{d}{n} = d\left(1 - \frac{1}{n}\right) = d\left(\frac{p - p_1}{p}\right).$$

Antra vertus

$$d - d_1 = \frac{m - m_1}{V};$$

tokiu būdu:

$$d\left(\frac{p - p_1}{p}\right) = \frac{m - m_1}{V};$$

iš čia

$$d = \frac{m - m_1}{V} \cdot \frac{p}{p - p_1}.$$

Vieton slėgimų santykio $\frac{p}{p - p_1}$ paprastai imama jiems proporcingų, tuos slėgimus atsveriančių, gyvojo sidabro stulpų aukščių santykis. Jei slėgimą p atsveria gyvojo sidabro stulpas

H cm aukščio (barometro aukštis), o $p_1 - h_1$ cm aukščio stulpas, tai

$$d = \frac{m - m_1}{V} \frac{H}{H - h_1} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

Normaliose sąlygose, kai slėgimas lygus 1 ata (barometro aukštis 76 cm) ir temperatūra 0° C, oro tankis

$$d_o = \frac{d(1+0{,}00367\,t).76}{H} = \frac{m—m_1}{V} \frac{(1+0{,}00367\,t).76}{H—h_1} \quad \ldots \quad (2)$$

Oro tankį taip matuojame. Imame didesnį stiklinį indą, užkemšame jį su guminiu kamščiu ir pro tą kamštį prakišame T pavidalo vamzdelį su dviem čiaupais. Įleidę į indą sauso oro, čiaupus uždarome ir pasveriame. Gauname m g. Indą sujungę su oro siurbliu ir manometru, pašaliname iš jo oro dalį. Galima pavartoti vandeninis oro siurblys. Tuomet čiaupą uždarome, atskaitome manometro gyvojo sidabro stulpų aukščių skirtumą h, barometro aukštį H ir kambario temperatūrą t^0. Likusio inde oro slėgimą atsveria gyvojo sidabro stulpas $h_1 = (H—h)$ cm, taigi $H—h_1 = h$ cm.

Indą pasveriame antrą kartą ir gauname m_1 g.

Dabar indo kaklelį įkišame į vandenį ir, atidarę čiaupus, pritraukiame indą pilną vandens. Uždarę čiaupus ir nusausinę indą, vėl pasveriame jį su vandeniu. Gauname m_2 g. Vandens masė inde bus $M = (m_2 — m)$g. Vandens gramų skaičius parodo indo tūrį V.

Gautuosius davinius įstatome į formulą (2) ir išskaičiuojame oro tankį d_o.

Įvertiname atskirų matavimų ir rezultato klaidas. Pastaroji

$$\pm\Delta d_o = \pm d_o \left[\frac{\Delta m_2 + \Delta m}{m_2 — m} + \frac{\Delta m + \Delta m_1}{m — m_1} + \frac{\Delta h}{h} + \frac{\Delta t \,.\, 0{,}00367}{1+0{,}00367t}\right],$$

$\frac{\Delta t.\, 0{,}00367}{1+0{,}00367t}$ yra nedidelė ir galima ją atmesti.

2. V. Meyer'io būdas garų tankiui rasti

V. Meyer'io aparatą sudaro garinimo vamzdis A, įdėtas į storesnį virinimo indą C (fig. 54). Pastarajame virinamas vanduo arba bet kuris kitas skystis. Garinimo vamzdyje esąs

oras įšyla iki verdančio skysčio garų temperatūros. Tuomet į garinimo vamzdį patalpinama nedidelė šioje temperatūroje lengvai garuojančio skysčio masė; ši staigiai išgaruoja ir iš vamzdžio išstumia oro dalį; tas, perėjęs jungiamąjį vamzdelį *a*, susirenka eudiometre *m*, išstumdamas iš jo vandens dalį.

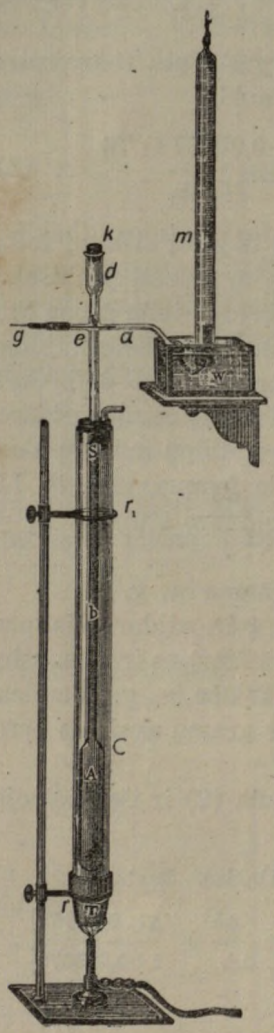

Fig. 54.

Tegu

m— išgarinto skysčio masė,

v — susirinkusio eudiometre oro tūris,

h — likusio eudiometre vandens stulpelio aukštis,

H — barometro aukštis,

t — vandens ir susirinkusio eudiometre oro temperatūra.

Garų tankis

$$d = \frac{\text{garų masė } m}{\text{to paties tūrio oro masė}}.$$

Temperatūros t^0 oro tankį, kuomet barometro aukštis $(H—h/13{,}6)$ cm, pažymėsime d_1; jo tankį esant temperatūrai 0°C ir barometro aukščiui 76 cm — d_0; tuomet

$$d_1 = \frac{d_0(H—h/13{,}6)}{(1+\alpha t)76};$$

ir tūrio *v* oro masė yra lygi

$$\frac{v\, d_0(H—h/13{,}6)}{(1+\alpha t)76}.$$

Taigi, garų lyginamasis tankis

$$d = \frac{m(1+\alpha t)76}{v\, d_0[H—h/13{,}6]} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

$d_0 = 0{,}001293$, dujų skėtimosi koeficientas $\alpha = 0{,}00367$; 13,6 — gyvojo sidabro lyginamasis svoris.

Susirinkusio eudiometre oro temperatūra t^0; jo slėgimą atsveria gyvojo sidabro stulpas (H—h/13,6) cm. Šiose sąlygose jis užima v tūrį. Jeigu jo temperatūra būtų 0° C ir slėgimas — 1 ata, taigi, šį slėgimą atsveriančio gyvojo sidabro stulpo aukštis — 76 cm, tuomet jis užimtų tūrį

$$v_0 = \frac{v(H—h/13,6)}{76(1+\alpha t)}$$

Tokį pat tūrį v_0 užimtų ir tiriamosios medžiagos m g tose pačiose sąlygose. Tiriamosios medžiagos garų viena gramo-molekula — tiek medžiagos gramų, koks yra jos molekulinis svoris — minėtose sąlygose užima 22,4 l arba 22400 cm³. Vadinasi,

$$\frac{m}{M} = \frac{v_0}{22400}$$

Iš čia tiriamosios medžiagos molekulinis svoris

$$M = \frac{22400 \cdot m}{v_0} = \frac{22400 \cdot m(1+\alpha t).76}{v(H—h/13,6)} \quad \ldots\ldots (2)$$

Matuojame taip. Iš pradžių į virinimo indą C įpilame vandens ir įdedame į jį garinimo indą A; į pastarojo viršutinėje dalyje esančią vieną šaką įstumiam jungiamąjį vamzdelį a, kurio antrą galą nugramzdiname į keturkampį indą w su vandeniu. Garinimo vamzdį užkišame kamščiu k ir šildome. Vamzdžio oras šildomas skečiasi ir burbuliukais išeina pro jungiamąjį vamzdelį laukan. Kai oras įšyla iki verdančio vandens (arba kitokio skysčio) garų temperatūros, jis nustoja ėjęs, burbuliukai nebepasirodo. Tuo tarpu kruopščiai pasveriame mažytį stiklinį indelį (ampulę), pripildom jį tiriamojo skysčio, nepalikdami jame jokio oro burbuliuko, jo galus užlydome, vėl pasveriame ir surandame tiriamojo skysčio masę m.

Kai indelis turi pavidalą nedidelės stiklinės pūslelės su dviem plonyčiais vamzdeliais, tai jį tiesiog pritraukiame tiriamojo skysčio. Jei indelis teturi vieną vamzdelį, tai jį pašildome ir kiaurą jo vamzdelį panardiname į tiriamą skystį: atvėsęs oras indelyje susitraukia ir tiriamasis skystis įstumiamas į indelį. Tai pakartoję kelis kartus, indelį galime pripildyti tiriamojo skysčio.

Užkišę antroje garinimo indo šakoje g vielelę, indelį su skysčiu pro garinimo indo viršų atsargiai padedame ant jos saugodami, kad jis nenukristų į patį indą.

Eudiometrą — stiklinį vienam gale uždarą, padalintą į cm^3, vamzdį — pripildome vandens ir apvertę įstatome į keturkampį indą su vandeniu. Kai oro burbuliukai nustoja ėję, eudiometrą taip pastatome, kad jo atviras galas vandenyje atsirastų ties jungiamuoju vamzdeliu *a*. Patraukus vielelę, indelis su tiriamuoju skysčiu nukrinta į garinimo indą ir sudūžta; skystis staigiai išgaruoja ir išstumia iš vamzdžio oro dalį, kuris susirenka eudiometre.

Pirmiau ištraukiame jungiamąjį vamzdį *a* ir tik vėliau nustojame šildyti. Antraip padarius, šaltas vanduo gali pakliūti į garinimo indą.

Atskaitome tūrį *v* eudiometre, vandens stulpo aukštį *h*, vandens temperatūrą t^0, barometro aukštį *H*. Įstatę gautuosius davinius į (1) ir (2) formulas, išskaičiuojame tiriamojo skysčio garų tankį ir molekulinį svorį.

Išskaičiuotų rezultatų klaidos

$$\pm\Delta d = \pm d\left[\frac{\Delta m}{m} + \frac{\alpha\Delta t}{(1+\alpha t)} + \frac{\Delta v}{v} + \frac{\Delta H + \Delta h/_{13,6}}{H - h/_{13,6}}\right]$$

ir

$$\pm\Delta M = \pm M\left[\frac{\Delta m}{m} + \frac{\alpha\Delta t}{(1+\alpha t)} + \frac{\Delta v}{v} + \frac{\Delta H + \Delta h/_{13,6}}{H - h/_{13,6}}\right].$$

§ 24. Kamertono virpėjimų skaičius

Trumpus, tesitęsiančius tik sekundės dalis, laiko tarpus galime matuoti kamertonu (fig. 55). Jį įvirpiname smogdami

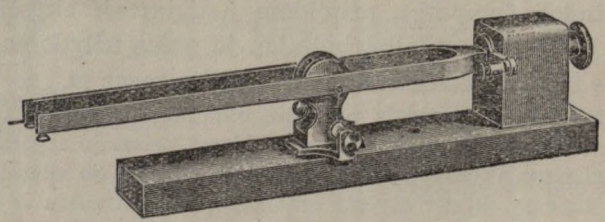

Fig. 55.

į vieną jo kojytę mediniu plaktuku; kartais galime įtaisyti elektromagnetinį virpintoją. Tarp kamertono kojyčių patalpi-

name elektromagnetą. Elektros srovės pertraukėją taip įtaisome, kad, elektromagnetui kojytes pritraukus, elektros srovė nutrūksta, tada kojytės prasiskečia ir vėl įjungia elektros srovę ir t. t., ir tokiu būdu kamertoną verčia virpėti.

Vieną kamertono kojyčių aprūpiname smailia elastinga plunksnele; palietus ja apsuodintą judomą paviršių, kamertonui virpant, jos smailagalys išbrėžia sinusinę kreivę, kurioje iškilimų skaičius atitinka kamertono virpėjimų skaičių. Žinodami apsuodinto paviršiaus judėjimo greitį ir suskaitę sinusinės kreivės iškilimus, galime surasti kamertono virpėjimų dažnumą — virpėjimų skaičių per laiko vienetą, pvz., 1 sek.

Bet kuris trumpai tesitęsiąs, ir gal periodiškai pasikartojąs, vyksmas kamertono užrašytoje bangų linijoje, vienu ar kitu būdu, gali pažymėti savo pradžią ir pabaigą. Tuomet, suskaitę virpėjimus, kamertono padarytus per tą laiką, galime nustatyti šio vyksmo tąsą. Reikia, žinoma, žinoti kamertono virpėjimų skaičių per 1 sek. Šį taip nustatome.

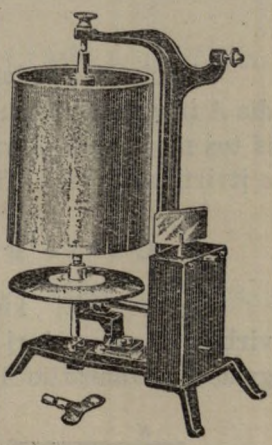

Fig. 56.

Imame laikrodinio įtaiso sukamą cilindrą (fig. 56), jį gražiai išsuodiname ir, prisukę varomąjį įtaisą, paleidžiame suktis; stebime, per kiek laiko jis apsisuka aplink. Iš kelių tokių stebėjimų surandame cilindro apsisukimo laiką T sek. Tuomet priartiname kamertoną tiek, kad jo plunksnelės smailagalys vos liestų apsuodintą paviršių. Išvirpinus kamertoną, jo plunksnelė išbrėžia besisukančio cilindro paviršiuje sinusinę bangų liniją. Liniuote atskiriame įvairaus ilgio dalis ir suskaitome, kiek kurioje dalyje yra sinusinės kreivės iškilimų. Bet kuriuo tikslesniu ilgiui matuoti prietaisu surandame cilindro skersmens ilgį D cm. Kai a cm ilgio kreivės dalyje yra b iškilimų, tai ieškomasis dažnumas

$$\nu = \frac{\pi D\, b}{a\, T} \text{ sek}^{-1}.$$

Matavimus kartojame kelis kartus ir imame surastų davinių aritmetišką vidurkį.

Išskaičiuoto rezultato klaida

$$\pm\Delta v = \pm v\left[\frac{\Delta D}{D} + \frac{\Delta b}{b} + \frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta T}{T}\right].$$

§ 25. Garso greitis

Garso greitį v, jo bangos ilgį λ ir dažnumą ν sieja ši pareinamybė:

$$v = \nu\lambda.$$

Taigi, norint surasti garso greitį, reikia išmatuoti ν ir λ. Dažnai to paties dažnumo garso greičiai įvairiose medžiagose lyginami, nustačius jo bangos ilgius. Pastaruosius ore arba dujose galima nustatyti iš bangų interferencijos.

1. Kundt'o vamzdis

Šį prietaisą sudaro kamščiu K užkištu galu stiklinis vamzdis A ir virbalas B su kamščio žiedu d gale. Virbalas padarytas iš tos medžiagos, kurioje tenka nustatyti garso greitį. Gnybtas c įtvirtina virbalą (fig. 57).

a) Garso greitis kietuose kūnuose.

Garso greitį kietuose kūnuose taip matuojame. Gulsčią virbalą B per vidurį sugnybame gnybtu c, kad su kamščiu d galas eitų vamzdžio A link. Į vamzdį A įberiame šiek tiek kamš-

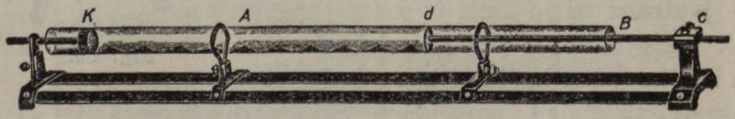

Fig. 57.

čio piūvenų, padedame gulsčiai į papėdes ir apmauname virbalo B galą tiek, kad kamštis d būtų keletą centimetrų įėjęs vamzdin. Žiedelis d neturi liesti indo sienų.

Sausu apkanifolintu audeklu braukome išilgai laisvąjį virbalo B galą. Tada virbalas ima išilgai virpėti ir sukelia garsą; tokių išilginių bangų mazgas yra gnybto c laikomoje vietoje, o iškilimai virbalo galuose. Virbalo ilgis atitinka jo keliamo garso bangos ilgio pusę.

Virbalo virpėjimai įvirpina vamzdžio A orą, ir čia susidaro stovimosios oro bangos, verčiančios kamščio piūvenas sudaryti vadinamąsias Kundt'o figūras; šių bangų mazgai ir iškilimai atitinka mazgus ir iškilimus, susidariusius vamzdžio ore. Ryškesnioms figūroms gauti keičiame kamščio d gylį vamzdyje. Kai nuotolis dK yra lygus sveikam virbalo keliamo tono pusbangių skaičiui, Kundt'o figūros itin aiškios. Tai nustatę, matuojame kelių figūrų ilgį ir randame vamzdyje keliamos bangos ilgį, kuris lygus dvigubam figūros ilgiui.

Vėliau matuojame virbalo B ilgį ir oro temperatūrą t^0.

Tegu ν yra virbalo keliamojo garso dažnumas, taigi, jo virpėjimų skaičius per sek. Jei to garso bangos ilgis ore λ, o garso greitis esamos temperatūros ore v, tai

$$v = \nu\lambda.$$

Antra vertus, to paties garso bangos ilgis virbale λ_1 ir greitis v_1, taigi,

$$v_1 = \nu\lambda_1.$$

Iš čia

$$\frac{v}{v_1} = \frac{\lambda}{\lambda_1}.$$

Kadangi vienos figūros ilgis l vamzdyje lygus pusei λ, o virbalo ilgis L — pusei λ_1, tai

$$\frac{v}{v_1} = \frac{l}{L}$$

arba

$$v_1 = v\,L/l.$$

Išmatuotus l ir L įstatome į paskutinę formulą ir išskaičiuojame garso greitį v_1.

Garso greitis ore pareina nuo temperatūros. Jei v yra garso greitis t^0 temperatūros ore, o v_0 — 0^0 C temperatūros ore, tai

$$v = v_0\sqrt{1 + \alpha t},$$

čia α yra dujų skėtimosi koeficientas, $\alpha = 0{,}00367$. Taigi,

$$v_1 = v_0 \sqrt{1+0{,}00367t} \cdot L/l.$$

b) Dujose.

Kundt'o vamzdį sudaro stiklinis vamzdis su žalvarinėmis apkabomis P galuose (fig. 58). Apkabos turi į šalis einančius vamzdelius r dujoms į vamzdį įleisti. Pro apkabą P į vamzdį įvestas stiklinis virbalas B, įveržtas dviejose vietose.

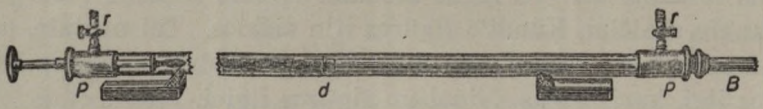

Fig. 58.

Taip matuojame. Vamzdį nustatome gulsčiai, įberiame kamsčio piūvenų ir įveržiame. Virbalo galą d įkišame į vamzdį pro apkabą P su gumine movele; ši visai arti prieina prie virbalo, bet neturi kliudyti išilginiems virbalo svyravimams.

Gumine pūsle prapučiame pro vamzdį orą. Virbalą B įvirpiname vandenyje suvilgytu minkštu audeklu. Vamzdyje susidaro išilginės stovimos oro bangos, ir kamščio piūvenos sudaro Kundt'o figūras. Matuojame vidutinį Kundt'o figūrų ilgį l_1.

Į vamzdį pro apkabos skylę įleidžiame tiriamas dujas ir anksčiau kalbėtu būdu gauname Kundt'o figūras. Matuojame l_2. Atskaitome kambario temperatūrą t^0.

Tiriamose dujose garso sklidimo greitis

$$v_1 = v_0 \sqrt{1+0{,}00367\,t} \cdot \frac{l_2}{l_1},$$

čia v_0 — garso greitis 0°C temperatūros ore.

Į šią formulą įstatome išmatuotus davinius ir išskaičiuojame v_1.

Suradę v_1, išskaičiuojama specifinės tiriamųjų dujų šilimos c_p, kai dujų slėgimas p pastovus, ir specifinės jų šilimos c_v, kai jų tūris v pastovus, santykis $\frac{c_p}{c_v}$:

$$\frac{c_p}{c_v} = v_1 \sqrt{\frac{d}{p}},$$

čia d — dujų tankis.

Įvertiname išskaičiuotų rezultatų klaidas:

$$\pm \Delta v_1 = \pm v_1 \left[\frac{\Delta L}{L} + \frac{\Delta l}{l} \right],$$

arba $$\pm \Delta v_1 = \pm v_1 \left[\frac{\Delta l_2}{l_2} + \frac{\Delta l_1}{l_1} \right]$$

ir

$$\pm \Delta \left(\frac{c_p}{c_v} \right) = \pm \frac{c_p}{c_v} \cdot \frac{\Delta v_1}{v_1}.$$

Temperatūros atskaitymo klaida labai mažai teklaidina rezultatą, jos neskaitome.

2. Virpąs oro stulpas

Turimo dažnumo bangos ilgį ir garso greitį ore galima surasti šiuo aparatu.

Stačias stiklinis vamzdis A stipriai įtvirtintas atviruoju galu aukštyn. Stiklinis pilstytuvas B įstatytas į stovo žiedą ir guminiu vamzdžiu sujungtas su apatiniuoju vamzdžio A galu (fig. 59). Į pilstytuvą tiek įpilta vandens, kad vamzdyje A jo būtų apie 25 cm žemiau vamzdžio viršaus. Guminis vamzdis įleistas į indą, kad kartais vanduo neišsilaistytų.

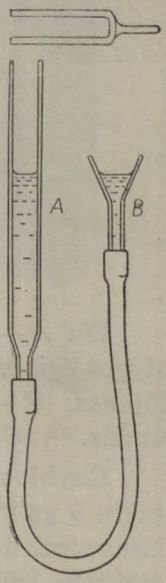

Fig. 59.

Tyrimą taip darome. Išmatuojame oro temperatūrą t^0. Virpantį kamertoną talpiname virš atidarojo vamzdžio A galo taip, kad jo kojytės būtų gulsčios ir svyravimai eitų vamzdžio ašies link; pilstytuvą tuo tarpu pamažėli leidžiame žemyn. Garso jėga kinta kartu su oro stulpo ilgiu. Šlapio popierio juostele, arba gumos žiedeliu, pažymime vandens paviršiaus vietą, kai garsas esti pats stipriausias. Nustatydami kartkartėmis patraukiame kamertoną nuo vamzdžio galo viršaus. Išmatuojame oro stulpo ilgį l_1 vamzdyje.

Taip pat nustatome kitą žemesnę vandens paviršiaus vietą, kai garso jėga daugiausia sustiprėja, ir išmatuojame oro stulpo ilgį l_2.

Pašaliname pažymėjimus ir pakartojame matavimą. Pabaigę išmatuojame dar kartą oro temperatūrą.

Turimojo dažnumo garso bangos ilgis ore

$$\lambda = 2(l_2 - l_1).$$

Bet garso greitis ore

$$v = \lambda\nu,$$

taigi,

$$v = \lambda\nu = 2(l_2 - l_1)\nu.$$

Į šią formulą įstatome turimus davinius ir išskaičiuojame garso greitį v.

Įvertiname v klaidą:

$$\pm\Delta v = \pm v \left(\frac{\Delta l_2 + \Delta l_1}{l_2 - l_1}\right).$$

§ 26. Sonometras

Stygų virpėjimas seka šį dėsnį:

$$\nu = \frac{1}{2RL}\sqrt{\frac{gP}{\pi d}}.$$

Čia ν — virpėjimų skaičius per 1 sek (dažnumas), L — stygos ilgis, R — jos stipinas, g — laisvai krintančio kūno greitėjimas, P — stygą tempiamoji masė, $\pi = 3{,}14$, d — stygos tankis.

Gnybtuose *aa* įveržti dviejų stygų galai (fig. 60). Jas su raktu *b* galima daugiau ar mažiau įtempti ir patrumpinti, pakišus slenkstelį *B*. 3-ios stygos vienas galas permestas per skridinį taip, kad į jį galima įkabinti įvairias mases *P*.

Dėsnį tokiu būdu tikriname.

Į trečiosios stygos galą įkabiname $P=5$ kg. Pirmąją stygą su raktu *b* tiek įtempiame, kad ji imtų rezonuoti 3-jai stygai. Pradžioje tai nustatome klausa, vėliau 1-mą stygą apžarginame

žiogliu, kuris, 3-ią stygą suvirpinus, nušoka (kai sonometras padėtas gulščiai).

Toliau į 3-ios stygos galą įkabiname paeiliui 10, 15, 20 kg. Kaskart, po 1-ma styga pakišdami slenkstelį *B*, tiek patrumpiname ją, kad ji rezonuotų 3 stygai. Pažymime 1 stygos gautuosius ilgius.

Rezonuojančių stygų ilgiai atvirkščiai proporcingi antrojo laipsnio šakniai iš stygas tempiančių jėgų.

$$\frac{L_2}{L_1} = \sqrt{\frac{P_1}{P_2}},$$

čia L_1 ir L_2 1-mos stygos ilgiai, P_1 ir P_2 atitinkamos įkabintos masės, proporcingos tempiamoms jėgoms. Įstatę į formulą išmatuotus 1 stygos ilgius, jai rezonuojant 3-jai, tikriname dėsnį.

Išskaičioujame stygų virpėjimo dažnumus ν, kai įkabiname $P = 5$, 10, 15, 20 kg. Ilgį L imame pastovų. P išreiškiame gramais, L ir R matuojame centimetrais; R surandame 0,01 mm tikslumu.

Išbrėžiame virpėjimų kreivę: vienoje stačiakampių koordinatų ašyje atidėję P, antroje ν, per gautuosius taškus išvedame kreivę.

Įvertiname išskaičiuoto ν klaidą:

$$\pm\Delta\nu = \pm\nu \left[\frac{\Delta L}{L} + \frac{\Delta R}{R}\right].$$

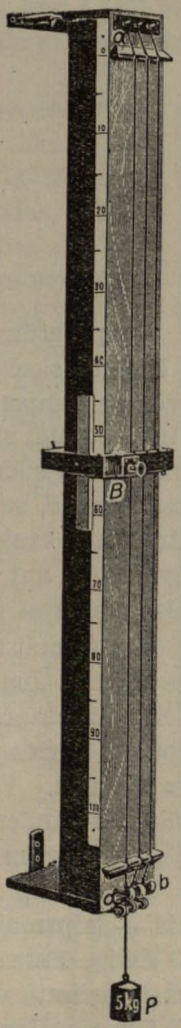

Fig. 60.

ŠILIMA

§ 27. Termometras

Temperatūrai matuoti naudojamės tokia kūnų ypatybe, kad jie šildomi skečiasi. Jų tūrio pakitimas apytiksliai yra proporcingas temperatūros kitimui. Dažniausiai temperatūrai matuoti vartojami skysčių, ypatingai gyvojo sidabro, termometrai. Termometrą sudaro stiklinis rutuliuko pavidalo indelis, pripildytas skysčio, su plonu kapiliariniu vamzdeliu. Prie kapiliaro pritvirtinta skala su padalinimais; dažnai padalinimai būna pažymėti ir ant paties kapiliarinio vamzdelio. Kapiliaras su skala paprastai talpinamas į storesnį stiklinį vamzdelį.

Pamatiniai termometro taškai yra — ledo tirpimo ir vandens virimo. Juos taip surandame: įmerkę termometro skysčio indelį į tirpstančio ledo ir vandens mišinį, skaloje pažymime tą vietą, iki kurios pakyla kapiliariniame vamzdelyje skysčio gyslelės viršūnė. Vėliau termometro skysčio indelį patalpiname į verdančio vandens garus ir vėl pažymime gyslelės viršūnės vietą; garų slėgimas turi būti lygus 1 ata.

Tarpą tarp šių pamatinių termometro taškų daliname dalimis — laipsniais: Réaumur'o skaloje — 80 dalių, Celsius'o — 100 dalių, Fahrenheit'o — 180 dalių. Fizikoje ir, apskritai, moksle priimta vartoti Celsius'o skala.

Gyvojo sidabro termometrais, pašalinus iš kapiliaro orą, galima matuoti temperatūras tarp —39°C ir +300°C. Aukštesnėms temperatūroms matuoti kapiliarą virš gyvojo sidabro užpildo azoto (N_2) arba anglies dvideginio (CO_2) dujomis. Tokiais iš sunkiai skystėjančio stiklo padarytais termometrais matuojame iki 650°C, o iš kvarco — iki 750°C. Žemesnėms kaip —39°C temperatūroms matuoti vartojami spirito, toluolo, pentano ir k. skysčių termometrai.

Bet kuriuo termometru tegalima išmatuoti tik tam tikro tarpo temperatūras. Šis matuojamų temperatūrų tarpas tuo

mažesnis, kuo tikslesnis termometras, taigi, kuo į smulkesnes dalis padalinta skala. Laboratorijoje dažniausiai vartojami padalinti į 0,1°C termometrai.

Kai reikia išmatuoti tiksliau mažus temperatūrų skirtumus, vartojame kartais keičiamos skalos — Beckmann'o termometrus (fig. 61). Jie turi labai ploną kapiliarą; jų skalos laipsnių padalinimai tiek dideli, kad juos galima padalinti net į 100 dalių. Tokiais termometrais galima matuoti tik nedidelius temperatūrų tarpus. Didesniems tarpams jie būtų labai ilgi ir juos vartoti būtų nepatogu. Įvairioms temperatūroms matuoti jie tokiu būdu pritaikomi. Termometro kapiliaras viršuje turi indelį gyvajam sidabrui. Atitinkamą gyvojo sidabro dalį perpylus iš termometro rutuliuko į viršutinį indelį, termometru galima matuoti bet kurių temperatūrų nedidelį skirtumą.

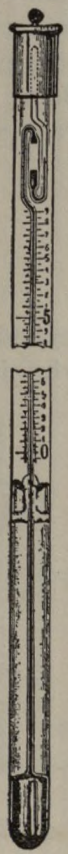

Fig. 61.

Termometrą paprastai tada atskaitome, kai jis ilgesnį laiką pastovi toje vietoje, kurioj matuojame temperatūrą, ir kada skysčio gyslelės kapiliare ilgis nebekinta. Atskaitant stebėtojo akis ir skysčio gyslelės viršūnė turi būti vienodame aukštyje. Paralaksui išvengti geresniuose termometruose už kapiliaro padaroma veidrodinė juostelė; tuomet žiūrima taip aukštai, kad skysčio gyslelės viršūnė ir jos atvaizdas veidrodyje sutaptų. Atskaitant kartais galime vartoti lęšį ar žiūronėlį. Žiūrint pro lęšį, padalinimų brūkšnių išlenkimas parodo, kad stebima per aukštai arba per žemai.

Išmatuoti visiškai tiksliai temperatūrą negalima; tik tegalima spręsti, kokiam temperatūrų tarpe tikimai randasi matuojamoji temperatūra. Tarpo dydis pareina nuo termometro skalos padalinimų dydžio, iš dalies ir nuo stebėtojo įgudimo termometrus atskaitinėti. Taip, atskaitydamas dešimtąsias laipsnio dalis turintį termometrą, stebėtojas gali atskaityti temperatūrą 0,05° arba bent 0,1° tarpe, jei padalinimai nėra per daug smulkūs. Taigi, atskaitytos temperatūros atsitiktinoji klaida yra $\pm 0{,}025^{\circ} \simeq \pm 0{,}03^{\circ}$.

§ 28. Termometro pamatinių taškų tikrinimas

Pamatiniai termometro taškai yra ledo skystėjimo (0°C) ir verdančio vandens garų (100°C) temperatūros, kai slėgimas yra 1 atmosfera. Bet kuris termometras laikui bėgant šiek

tiek pakinta, stiklas susensta, pasikeičia ir jo skėtimosi koeficientas ir k. Taigi, jei, termometrą dirbant, pamatiniai brūkšniai (0^0 ir 100^0) ir būtų buvę visiškai tiksliai pažymėti skaloje, tai termometro parodymai vėliau pakinta ir nebesutampa su skaloje pažymėtais padalinimais. Tiksliau temperatūras matuodami, turime patikrinti pamatinius termometro taškus, kad surastume, kiek reikia pataisyti termometro parodymus.

1. Nulinio taško tikrinimas

Paimame termometrą. Patikriname, ar nėra kame nors nutrūkusi jo gyvojo sidabro gyslelė, ar nėra gyvojo sidabro viršuje. Jei būtų, tai, staigiai sukrėsdami termometrą, suliejame sutrūkinėjusią gyslelę. Kartais tam padaryti tenka termometrą šildyti, kol gyslelė pasiekia kapiliaro viršų. Tai darome atsargiai, kad jo nesusprogdintume.

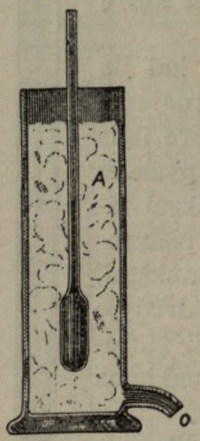

Fig. 62.

Vėliau imame indą *A* su angele *o* apačioje (fig. 62), o neturėdami tokio — didesnį stiklinį pilstytuvą su guminiu vamzdeliu, pridedame jį švaraus sniego arba susmulkinto ledo ir užpilame destiliuoto vandens, užpildydami juo visus ledo protarpius. Į šį ledo ir vandens mišinį įleidžiame termometro rutuliuką, kad tik nulinis padalinimas kyšotų prie mišinio paviršiaus. Palaukiame, kol termometro gyvasis sidabras sustos slūgęs, ir atskaitome jo gyslelės viršūnės vietą. Tai ir bus nulinės temperatūros taškas. Surandame, kiek skiriasi šis taškas nuo nulinio skalos taško (arba brūkšnio).

2. Šimtinio taško tikrinimas

Užkemšame stiklinį indą kamščiu su dviem skylėm: į vieną jų įstatome termometrą, į antrą — sulenktą stiklinį vamzdelį vandens garams išeiti. Vieton stiklinio galime imti dvigubų sienų skardinį indą *A* su manometru r^1 ir vamzdeliu *r* garams išeiti (fig. 63). Į jį tiek įleidžiame termometrą *T*, kad jo ru-

tuliukas kokius 3—5 cm būtų aukščiau vandens paviršiaus ir kad 100-sis padalinimas būtų šiek tiek aukščiau kamščio. Įpylę į indą vandens, padedame jį ant variniu tinkleliu apdengto trikojo ir pasukam taip, kad geriausiai matytųsi gyvojo sidabro gyslelė ir skalos padalinimai. Vandenį užviriname ir leidžiame palengva virti bent 10—15 min. Tuo tarpu stebime gyvojo sidabro gyslelės viršūnės vietą. Atskaitome barometro aukštį ir lentelėje 10 surandame atitinkančią verdančio vandens garų temperatūrą. Ją palyginame su rodoma termometro temperatūra ir surandame pataisą.

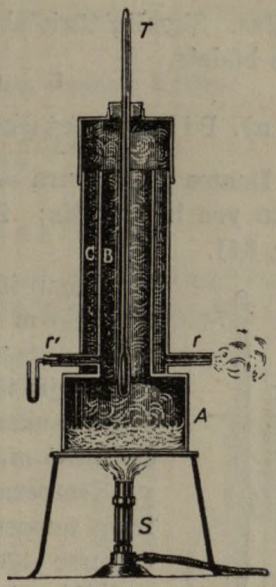

Fig. 63.

Abiejuos atsitikimuos termometrus atskaitome kaip galima tiksliau, bent dešimtosios laipsnio dalies tikslumu.

§ 29. Kūnų skėtimosi koeficientas

Šildomi kūnai skečiasi. *Jų tūrio prieauglio santykį su pradiniu tūriu, pakėlus temperatūrą 1°C, vadiname tūrio (arba kūbinio) skėtimosi koeficientu.*

Jei bet kurio t_0^0 temperatūros kūno tūris v_0, o t_1^0 temperatūros v , tai to kūno tūrio skėtimosi koeficientas

$$\alpha = \frac{v - v_0}{v_0(t_1 - t_0)} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

Taigi, kūno tūrio skėtimosi koeficientą ieškant, tenka matuoti jo pradinį ir padidėjusį tūrius ir temperatūros pakitimą.

1. Skysčių tūrio skėtimosi koeficientas

Šildant bet kurį skystį inde, skečiasi ne tik pats skystis, bet ir indas, kuriame jis randasi. Taigi, išmatuotas skysčio tūrio padidėjimas yra mažesnis už tikrąjį, koks būtų, kai indo tūris nesikeistų. Skaičiuojant tikrąjį tūrio skėtimosi koeficientą, reikia atsižvelgti ir į indo tūrio pakitimą, temperatūrai

pakilus. Skysčių tūrio skėtimosi koeficientas galima išmatuoti šiais būdais.

a). Piknometru.

Imame piknometrą — stiklinį indą su termometru T, kuris kartu yra ir kamštis; indas turi vamzdelį a su brūkšniu m (fig. 64).

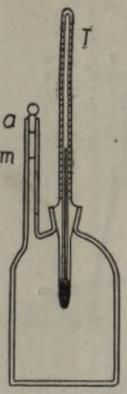

Fig. 64.

Tegu iš pradžių piknometras pripiltas iki brūkšnio m temperatūros t_0^0 skysčio; pastarojo masė — m_0 g. Pašildžius skystį iki t_1^0 temperatūros, jis išsiskečia, dalis jo išbėga pro vamzdelį a laukan. Dabar piknometrą užpildanti skysčio masė m_1 bus mažesnė. Piknometro tūris yra v. Temperatūros t_0^0 skysčio 1 g užima v/m_0 cm³ ir t_1^0 temperatūros v/m_1 cm³. Pakilus temperatūrai nuo t_0^0 iki t_1^0, skysčio 1 g užimtas tūris padidėja $v/m_1 - v/m_0$, o jai pakilus 1^0 —

$$\frac{1}{t_1 - t_0}\left(\frac{v}{m_1} - \frac{v}{m_0}\right).$$

Tokiu būdu, skysčio tūrio skėtimosi koeficientas

$$\alpha = \frac{1}{t_1 - t_0}\left(\frac{v}{m_1} - \frac{v}{m_0}\right) : \frac{v}{m_0} = \frac{1}{t_1 - t_0} \cdot \frac{m_0 - m_1}{m_1} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

Skėtimosi koeficientą tokiu būdu matuojame. Piknometrą išdžioviname ir tuščią pasveriame. Tegu jis sveria m g. Jį įdedame į ledo ir vandens mišinį, kuriame yra ir tiriamasis skystis. Kai piknometras ir skystis atvėsta iki t^0_0 (čia 0^0C), pripilame jį tiriamojo skysčio, įdedame termometrą pasaugodami, kad piknometre neliktų oro burbuliukų, ir nusausiname. Vamzdelyje a skystis turi siekti brūkšnelį; skysčio perteklių išimame sausinamuoju popieriu. Pasveriame piknometrą su skysčiu; jis sveria M_0 g. Skystis piknometre sveria

$$M_0 - m = m_0 \text{ g}.$$

Paskui piknometrą įdedame į indą su vandeniu ir šildome, kol temperatūra pakils iki t_1^0 (iki 30^0, kai termometras leidžia, ir aukščiau). Pasižymime šią temperatūrą, nusausiname piknometrą, nuimam skysčio perteklių virš brūkšnelio ir vėl pasveriame. Gaunam M_1 g. Skystis sveria $M_1 - m = m_1$ g. Įstatę

į formulą (2) gautuosius davinius, išskaičiuojame tiriamojo skysčio tūrio skėtimosi koeficientą.

Įvertiname atskirų matavimų ir išskaičiuoto rezultato klaidas:

$$\pm\Delta\alpha = \pm\alpha\left[\frac{2\Delta t}{t_1 - t_0} + \frac{\Delta m_0 + \Delta m_1}{m_0 - m_1} + \frac{\Delta m_1}{m_1}\right].$$

b) Susisiekiamų indų pagalba.

Paimame U pavidalo stiklinį vamzdį *Aa bB* ir pripilame jį tiriamojo skysčio (fig. 65). Vamzdžio šaka *Aa* randasi antrame inde su verdančio vandens garais, o šaka *Bb* — inde su ledo ir vandens mišiniu. Pirmoje šakoje skystis iškyla aukščiau.

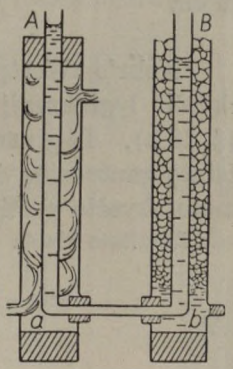

Fig. 65.

Susisiekiamuose induose skysčio stulpų aukščiai yra atvirkščiai proporcingi jo tankiams; kai aukščiai yra h_1 ir h_2, o skysčio atitinkami tankiai — d_1 ir d_2, tai

$$h_1 : h_2 = d_2 : d_1.$$

Bet įvairios temperatūros skysčio tankius sieja ši pareinamybė; prie žemesnės temperatūros jo tankis

$$d_2 = \frac{d_1}{1 + \alpha t},$$

kur α — skysčio skėtimosi koeficientas, t — temperatūrų skirtumas. Tokiu būdu,

$$\alpha = \frac{h_2 - h_1}{h_1 t} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3)$$

Šiuo būdu skėtimosi koeficientą nustatinėjant, reikia išmatuoti katetometru skysčio stulpų paviršių aukščio skirtumą ir abiejų šakų skysčio temperatūras.

Į šakos *Aa* gaubiamąjį indą leidžiame bent 30 min. verdančio vandens garus. Tiek pat laiko ir vėsiname šakos *Bb* tiriamąjį skystį, įpylę į tos šakos gaubiamąjį indą ledo ir vandens mišinį. Išmatuojame skysčių paviršių aukščių skirtumą abiejose šakose, temperatūrų skirtumą ir, gautuosius duomenis įstatę į formulą (3), išskaičiuojame skėtimosi koeficientą α.

Išskaičiuoto rezultato klaida

$$\pm \Delta \alpha = \pm \alpha \left[\frac{2\Delta h_1}{h_2 - h_1} + \frac{\Delta h_1}{h_1} + \frac{\Delta t}{t} \right].$$

c) Mohr'o Westphal'io svarstyklėmis.

Kai bet kurio t_0^0 temperatūros skysčio tankis yra d_0, o aukštesnės temperatūros t_1^0 — d_1, tai

$$d_0 = d_1(1 + \alpha t).$$

Iš čia

$$\alpha = \frac{d_0 - d_1}{d_1(t_1 - t_0)} \quad \ldots\ldots\ldots (4)$$

Mohr'o Westphal'io svarstyklėmis išmatuojame tiriamojo skysčio lyginamąjį svorį, kai jis turi temperatūrą t_0^0 ir t_1^0 (§ 13,3). Lyginamojo svorio skaitinė vertė parodo ir tankį. Įstatę gautuosius davinius į formulą (4), išskaičiuojame tiriamojo skysčio skėtimosi koeficientą α.

Rezultato klaida

$$\pm \Delta \alpha = \pm \alpha \left[\frac{2\Delta d_0}{d_0 - d_1} + \frac{\Delta d_1}{d_1} + \frac{2\Delta t_1}{t_1 - t_0} \right].$$

2. Dujų tūrio skėtimosi koeficientas

Šildant dujas kinta ir jų tūris ir slėgimas. Pagal Boyle'o Mariotte'o - Gay - Lussac'o dėsnį

$$vp = v_0 p_0 [1 + \alpha (t_1 - t_0)], \quad \ldots\ldots\ldots (5)$$

čia v_0, p_0 ir v , p yra atitinkamai dujų tūriai ir slėgimai, kai dujų temperatūra yra t_0^0 ir t_1^0.

Kai dujos taip šildomos, kad jų slėgimas lieka pastovus, taigi $p = p_0$, tada gauname šią formulą:

$$v = v_0 [1 + \alpha (t_1 - t_0)], \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (6)$$

o kai tūris nekinta, $v = v_0$, tai

$$p = p_0 [1 + \alpha (t_1 - t_0)] \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (7)$$

Iš jų

$$\alpha = \frac{v - v_0}{v_0(t_1 - t_0)} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (8)$$

ir

$$\alpha = \frac{p - p_0}{p_0(t_1 - t_0)} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (9)$$

Taigi, dujų skėtimosi koeficientą galima matuoti dvejopu keliu: keičiant dujų tūrį, slėgimą paliekant pastovų, arba keičiant jų slėgimą, o tūrį paliekant pastovų.

a) Keičiant dujų tūrį.

Šiuo keliu dujų tūrio skėtimosi koeficientą taip nustatome. Paimame stiklinį indą J apie 400—600 cm³ talpos, išmatuojame jo tūrį ir, įpylę į jį $CaCl_2$, užkemšame guminiu kamščiu. Per šį išvedame stiklinį vamzdelį, kuris jungia indą J su matuojamąja aparato dalim. Indą J įstatome į kitą skardinį indą su vandeniu (fig. 66), į kurį įdedame maišiklį L ir tikslesnį (0,1°) termometrą T. K_1 ir K_2 žymi čiaupus, M — manometrą, kurį sudaro padalintas cm³ stiklinis vamzdis C, guminiu vamzdeliu sujungtas su kilnojamu vamzdžiu D. Į pastarąjį įpilame vandens arba gyvojo sidabro.

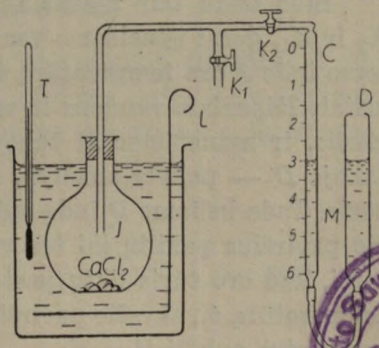

Fig. 66.

Atsukame čiaupus K_1 ir K_2, kad indo oro slėgimą suvienodintume su kambario oro slėgimu. Gerai išmaišę vandenį skardiniame inde, atskaitome jo temperatūrą t_0. Tokią pat temperatūrą turi ir oras inde J. Paskui vamzdį D keliame tol į viršų, kol vandens paviršius vamzdyje C pakyla iki 0-nio padalinimo, ir užsukame čiaupą K_1. Indo J ir jungiamojo vamzdelio iki 0-nio padalinimo tūris tegu bus v_0.

Pamažu pašildome vandenį skardiniam inde keliais laipsniais. Nuo vandens įšyla oras inde J ir išsiskėčia, slėgdamas vandens paviršių žemyn. Nustoję šildyti, gerai išmaišome vandenį ir atskaitome temperatūrą t_1; paskui leidžiame vamzdį D žemyn tiek, kad vandens paviršiai susisiekiamuose induose D ir C būtų vienodai aukštai. Tuomet oro slėgimas inde J nebus pasikeitęs. Atskaitę vandens paviršiaus aukštį, gauname tūrio padidėjimą $v - v_0$. Gautus davinius įstatome į formulą (8) ir išskaičiuojame tūrio skėtimosi koeficientą. Matavimus kartojame bent 3 kartus. Vartojant vamzdyje C vandenį, esančiame

inde J ore yra vandens garų, o turint oro ir vandens garų mišinį, formula (8) nebegalioja — gaunasi per mažas dujų tūrio prieauglis (v—v_0). Kai inde J yra nevisai sausas oras, naudojame tokią formulą:

$$\alpha = \frac{(v - v_0) + c_1(t_1 - t_0)}{v_0(t_1 - t_0)}, \quad \ldots\ldots (10)$$

čia c_1 yra tyrimo keliu nustatoma aparato konstanta.

b) Keičiant dujų slėgimą.

Šiuo būdu taip matuojame. Iš pradžių, atsukę čiaupus K_2 ir K_1, gerai išmaišome vandenį skardiniame inde ir atskaitome inde J oro temperatūrą t_0. Čiaupą K_1 užsukę, pakeliame keliais laipsniais vandens ir oro temperatūrą. Pastarasis išsiskečia, ir manometro M šakoje C skystis paslenka žemyn, o šakoje D — pakyla aukštyn, taigi, pasikeičia ir uždaryto oro tūris. Tada keliame D indą aukštyn tiek, kad vamzdyje C skysčio paviršius pakiltų iki tos vietos, kur jis buvo prieš šildant, taigi, kad oro tūris liktų pastovus. Atskaitome uždaryto oro temperatūrą t_1, skysčio paviršių aukščių skirtumą h manometre, barometro aukštį H.

Pradinis uždaryto inde J oro slėgimas p_0 yra proporcingas barometro aukščiui H. Kai manometre yra gyvasis sidabras, tai oro slėgimo padidėjimas bus proporcingas h, o turint manometre vandenį — proporcingas h/13,6.

Vieton pačių slėgimų p_0 ir $p - p_0$ į formulą (9) galima įstatyti proporcingus jiems dydžius H ir h. Tuomet gauname:

$$\alpha = \frac{h}{H(t_1 - t_0)} \quad \ldots\ldots\ldots (11)$$

Kai manometre M vartojame vandenį, indo J oras nėra visai sausas. Tuomet vartojame tokią formulą:

$$\alpha = \frac{h + c_2(t_1 - t_0)}{13{,}6 \cdot H(t_1 - t_0)}, \quad \ldots\ldots\ldots (12)$$

čia c_2 yra tyrimo keliu nustatoma aparatūros konstanta.

Išmatuotus davinius įstatome atitinkamai į formulą (11) arba (12) ir išskaičiuojame skėtimosi koeficientą α. Matavimus kartojame kelis kartus.

Įvertiname atskirų matavimų ir išskaičiuotų rezultatų klaidas. Pirmuoju būdu matuojant

$$\pm \Delta \alpha = \pm \alpha \left[\frac{2\Delta v_0}{v_1 - v_0} + \frac{\Delta v_0}{v_0} + \frac{2\Delta t_0}{t_1 - t_0} \right]$$

ir antruoju —

$$\pm \Delta \alpha = \pm \alpha \left(\frac{\Delta h}{h} + \frac{\Delta H}{H} + \frac{2\Delta t_0}{t_1 - t_0} \right);$$

$c_1(t_1 - t_0)$ ir $c_2(t_1 - t_0)$ narių klaidos yra mažos, nes patys nariai yra nedideli, jos atmetamos.

3. Dujų termometras

Kai bet kurių dujų skėtimosi koeficientas žinomas, iš jų tūrio pasikeitimo, esant pastoviam slėgimui, arba iš jų slėgimo kitimo, esant pastoviam tūriui, galima spręsti apie jų temperatūros kitimą.

Iš formulų (8) ir (9) gauname:

$$t_1 - t_0 = \frac{v - v_0}{v_0 \alpha} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (12)$$

ir

$$t_1 - t_0 = \frac{p - p_0}{p_0 \alpha} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (13)$$

Žinodami pradinę dujų temperatūrą t_0, galime išmatuoti jų pakilusią temperatūrą t_1, taigi, anksčiau (§ 29,2,a) aprašytą aparatą galime pavartoti termometro vieton. Taip ir atrodo dujų termometrai. Jie yra tikslesni už skysčių termometrus, kadangi dujų tūrių arba slėgimų kitimai yra griežčiau proporcingi temperatūrų kitimams, kaip skysčių, ypač vartojant sunkiai skystėjančias dujas, k. a. helį, vandenilį ir k. Norėdami tiksliau temperatūras matuoti, vartojame dujų termometrus. Jie tinka ir aukštoms ir labai žemoms temperatūroms, artimoms absoliutiniam nuliui, matuoti.

Norint temperatūrų skirtumą matuoti, reikia išmatuoti ankščiau aprašytais būdais arba pradinį ir galinį dujų tūrį, kai jų slėgimas pasilieka pastovus, arba pradinį ir galinį dujų slėgimą, kai jų tūris nepakinta. Visų dujų skėtimosi koeficientas yra pastovus dydis ir lygus $\alpha = 1/273 = 0{,}00367$.

§ 30. Specifinė šilima

Kai bet kurio kūno temperatūra pakyla nuo t^0 iki $t_1{}^0$, tai sakome, kad jis įgyja šilimos kiekį $q = K(t_1 — t)$ kalorijų. Koeficientas K vadinasi *kūno šilimos talpa.* Jis nusako tokį *šilimos kiekį, koks reikalinga kūnui suteikti, kad jo temperatūra pakiltų* 1^0. Bet kurio kūno 1 gramo masės šilimos talpą vadiname *specifine šilima.* Tai yra *šilimos kiekis, reikalingas suteikti bet kurio kūno 1 gramo masei, kad jos temperatūra pakiltų vienu laipsniu.* Šilimos talpos dimensija yra [kal/laip], o specifinės šilimos [kal/g laip]. Bet kurio kūno masės ir jo specifinės šilimos sandaugą vadiname *vandenine kūno* verte: tokia, šilimos atžvilgiu lygiaverte, vandens mase pakeičiame bet kurio kūno masę. Savo skaitine verte ji lygi kūno šilimos talpai.

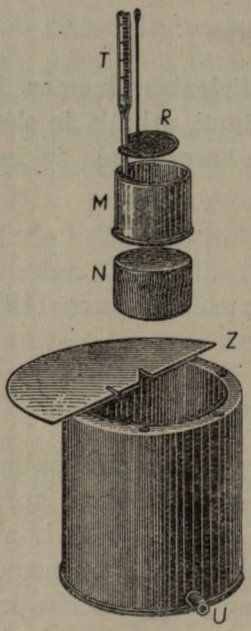

Fig. 67.

Šilimą matuojame prietaisu, vadinamu kalorimetru. Jį sudaro du vienas į antrą įdėti metaliniai indai (fig. 67). Didesnysis Z dažnai turi

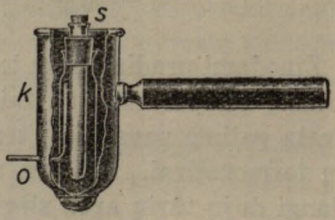

Fig. 68.

dvigubas sieneles. Vidurinis būna padėtas ant šilimai nelaidžios kaladėlės N. Kartais abu indu uždengiami vienu bendru dangteliu. Į vidujinį indą M įdedame maišiklį R ir įstatome termometrą T.

Kūnams šildyti iki verdančio vandens arba bet kurio kito skysčio garų temperatūros vartojame įvairius šildymo prietaisus, dažniausiai čia aprašytą (fig. 68). Jį sudaro šonuose dvigubų sienų indas k. Į tą indą įpilam virinamą skystį (vandenį ar k.) ir įstatome su kamščiu stiklinį vamzdelį s. Pro vamzdelį

o išeina verdančio skysčio garai. Tarpą tarp indo k sienų užpildome šilimai nelaidžia medžiaga — vilna, vata.

Šildomą kūną atsargiai įdedame į vamzdelį ir šildome. Vandeniui užvirus, dar pašildome 15—20 minučių, kad šildomasis kūnas įgautų verdančio vandens garų temperatūrą. Išmatuojame barometro aukštį; verdančio vandens garų temperatūrų ir barometro aukščių lentelėje (lentelė 10), arba atitinkamoje diagramoje, randame verdančio vandens garų temperatūrą.

1. Kietų kūnų specifinė šilima

Ją taip matuojame. Pasveriame kalorimetro vidujinį indą su maišikliu; tegu jis sveria m_1 g; įpilame į jį iki pusės vandens ir vėl pasveriame; tegu dabar jis sveria m_2 g. Įpilto vandens masė $m = (m_2—m_1)$ g. Pasveriame ir kūną, kurio masės specifinę šilimą ieškome — jis sveria M g. Indą su vandeniu įstatome į kalorimetrą ir į vandenį nuleidžiame termometrą. Įdėję kūną į šildymo aparatą, pašildom iki verdančio vandens garų temperatūros T^0.

Kalorimetro vandenį gerai išmaišome ir sekame jo temperatūrą bent 10 minučių, pažymėdami ją kas 1 arba 0,5 min. Pašildę kūną, įmetam jį atsargiai į kalorimetro vandenį. Vandenį maišom, ir vėl atskaitinėjam termometro rodomas temperatūras. Taip sekam temperatūrą bent 20—30 minučių. Iš išmatuotų temperatūrų nustatome kalorimetro vandens tikrąsias, pradinę ir galinę, temperatūras t_1^0 ir t_2^0 (ž. § 37).

Kalorimetro vanduo ir indas su maišikliu gavo

$$(m+m_1c_1)\ (t_2—t_1)$$

kalorijų šilimos; m_1c_1 — kalorimetro šilimos talpa, c_1 — kalorimetro indo specifinė šilima; jei jis žalvarinis, tai $c_1 = 0{,}092$ kal/g laip.

Įmestas į kalorimetrą pašildytas kūnas neteko viso

$$Mc(T—t_2)$$

kalorijų šilimos; c ieškomoji kūno specifinė šilima, T — verdančio vandens garų temperatūra, iki kurios kūnas pašildytas. Kadangi kūno atiduota ir kalorimetro gauta šilimos lygiai, tai

$$Mc(T—t_2) = (m+m_1c_1)\ (t_2—t_1).$$

Iš čia $$c = \frac{(m + m_1c_1)(t_2 - t_1)}{M(T - t_2)} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

Įstatę išmatuotus davinius į formulą (1), išskaičiuojame ieškomąją specifinę šilimą c.

Įvertinam atskirų matavimų ir išskaičiuoto c klaidas:

$$\pm \Delta c = c \left[\frac{\Delta m + \Delta m_1 c_1}{m + m_1 c_1} + \frac{2\Delta t_1}{t_2 - t_1} + \frac{\Delta M}{M} + \frac{\Delta T + \Delta t_2}{T - t_2} \right].$$

2. Skysčių specifinė šilima

Specifinę skysčio šilimą matuojame įvairiais būdais.

a) Turint žinomos specifinės šilimos kietą kūną.

Kai turime masės M g ir žinomos specifinės šilimos c kietą kūną, tai į kalorimetrą vieton vandens pilam tiriamąjį skystį ir taip matuojam, kaip anksčiau aprašyta (žrk. § 30, 1).

Pašildyto kūno kalorimetrui atiduota šilima:

$$Mc(T - t_2),$$

kalorimetro gauta šilima:

$$(m c_2 + m_1 c_1)(t_2 - t_1).$$

Čia c_2 — yra tiriamojo skysčio, o c — žinomojo kieto kūno specifinės šilimos; visi kiti pažymėjimai reiškia tą pat, kaip ir anksčiau (§ 30, 1).

Atiduotoji ir gautoji šilimos lygios; taigi,

$$Mc(T - t_2) = (mc_2 + m_1 c_1)(t_2 - t_1).$$

Iš čia

$$c_2 = \frac{Mc(T - t_2)}{m(t_2 - t_1)} - \frac{m_1 c_1}{m} \quad \ldots\ldots\ldots (2)$$

Įstatę į formulą (2) išmatuotus davinius, išskaičiuojame c_2.

Įvertinam klaidas:

$$\pm \Delta c_2 = \pm \left\{ \frac{Mc(T - t_2)}{m(t_2 - t_1)} \left[\frac{\Delta M}{M} + \frac{\Delta t_2 + \Delta T}{T - t_2} + \frac{\Delta m}{m} + \frac{2\Delta t_1}{t_2 - t_1} \right] + \right.$$

$$\left. + \frac{m_1 c_1}{m} \left(\frac{\Delta m_1}{m_1} + \frac{\Delta m}{m} \right) \right\}.$$

b) Kaloriferiu.

Vieton kieto kūno galime imti kaloriferį. Tai yra pailgas stiklinis indelis su siauru vamzdeliu, kuris per vidurį šiek tiek išplėstas (fig. 69). Ant vamzdelio įbrėžti du brūkšneliai. Į indą pripilam tiek gyvojo sidabro, kad jo paviršius vamzdelyje rastųsi bent kiek žemiau apatinio brūkšnelio. Kaloriferį šildant, gyvasis sidabras skečiasi ir kyla vamzdeliu aukštyn, vėsinant jį — krinta žemyn. Vėsdamas tiek, kad jo vamzdelyje gyvojo sidabro gyslelės viršūnė nukrinta nuo viršutinio brūkšnelio iki apatinio, kaloriferis atiduoda tam tikrą, kiekvieną kartą tokį pat šilimos kiekį Q.

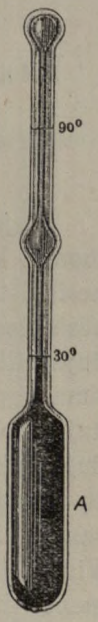

Fig. 69.

Pasvėrę tuščią kalorimetro indą, į jį įpilam vandens, vėl pasveriam ir surandam įpilto vandens masę m g. Įstatę termometrą, sekame jo temperatūrą, užsirašydami kas 0,5 arba 1 min. termometro parodymą. Taip sekame bent 10 min. Kaloriferį tiek pašildome, kad jo gyvojo sidabro gyslelė pakiltų virš viršutinio brūkšnio. Kai kaloriferiui vėstant, jo gyslelės viršūnė nukrinta iki viršutinio brūkšnelio, kaloriferį įleidžiam į vandenį ir, maišydami pastarąjį, stebime gyslelės kritimą. Kai tik gyslelės viršūnė atsiranda ties apatiniu brūkšneliu, kaloriferį išimam ir, maišydami vandenį, stebime tam tikrą laiką (20 min.) vandens temperatūrą, pasižymėdami ją kas 0,5 arba 1 minutė. Surandame tikrąsias vandens, pradinę ir galinę, temperatūras t_1 ir t_2 (žrk. § 37).

Tą pat padarom, įpylę į kalorimetrą tiriamąjį skystį, Surandame masę M g, jo pradinę ir galinę temperatūras t_1^1 ir t_2^1.

Kalorimetro indas ir vanduo gauna

$$(m+m_1c_1)\ (t_2—t_1)$$

kalorijų šilimos, o indas ir tiriamasis skystis

$$(Mc+m_1c_1)\ (t_2^1—t_1^1)$$

kalorijų. Čia c — tiriamojo skysčio, c_1 kalorimetro indo specifinės šilimos, m_1 kalorimetro indo masė. Gautieji šilimos kiekiai abiejuose atsitikimuose lygūs, taigi,

$$(m+m_1c_1)\ (t_2—t_1) = (Mc+m_1c_1)\ (t_2^1—t_1^1).$$

Iš čia

$$c = \frac{(m+m_1c_1)\,(t_2-t_1)}{M(t_2^1-t_1^1)} - \frac{m_1c_1}{M} \quad \ldots\ldots \quad (3)$$

Išmatuotus davinius įstatę į formulą (3), išskaičiuojame c. Įvertiname jo klaidą:

$$\pm \Delta c = \pm \left\{ \frac{(m+m_1c_1)\,(t_2-t_1)}{M(t_2^1-t_1^1)} \left[\frac{\Delta m + \Delta m_1 c_1}{m+m_1} + \frac{\Delta M}{M} + \frac{2\Delta t_2}{t_2-t_1} + \right. \right.$$

$$\left. \left. + \frac{2\Delta t_2^1}{t_2^1-t_1^1} \right] + \frac{m_1c_1}{M} \left(\frac{\Delta m_1}{m_1} + \frac{\Delta M}{M} \right) \right\}.$$

Dažniausiai $\Delta t_2 = \Delta t_1$ ir $\Delta t_2^1 = \Delta t_1^1$.

3. Dujų specifinės šilimos; jų santykis

Dujas galima šildyti taip, kad jų tūris v lieka pastovus, tuomet kinta jų slėgimas p. Arba, šildant gali jų slėgimas p nesikeisti, tuomet didėja jų tūris v. Antrajam atsitikime dujos besiskėsdamos atlieka darbą, nugalėdamos išorinį slėgimą. Kai dujos šildomos paliekant jų slėgimą pastoviu, tai tiekiamoji šilima suvartojama ne tik pačioms dujoms pašildyti, pagreitinti dujų molekulų judėjimą, bet ir darbui atlikti. Todėl specifinė dujų šilima c_p prie pastovaus slėgimo yra visuomet didesnė už jų specifinę šilimą c_v prie pastovaus tūrio, $c_p > c_v$; c_p ir c_v santykį žymime k, $c_p/c_v = k$. Jis surandamas įvairiais būdais. Vienas jų jau paminėtas (žrk. § 25, 1, b). Čia aprašysime Clement'o ir Desormes'o būdą.

Tūryje v_0 esančias dujas, kurių slėgimas ir temperatūra atitinkami yra p_0 ir T_0, staigiai suslėgiame arba išretiname. Jos įšyla arba atvėsta, nes, staigiai vykstant atmainai, labai mažai tebus atiduota šilimos aplinkai arba iš jos gauta. Atmaina, galima sakyti, vyks adiabatiškai, t. y. taip, lyg kad dujos būtų visiškai izoliuotos nuo aplinkos ir negalėtų nei atiduoti šilimos, nei iš jos gauti. Kai dujas praretiname, tai naujas jų tūris $v > v_0$, naujas jų slėgimas $p < p_0$ ir jų temperatūra $T < T_0$. Palaukiame, kol atvėsusios dujos vėl palengva įšils iki savo pradinės, reiškia, aplinkos temperatūros T_0. Liekant tūriui pastoviam, jų slėgimas padidėja iki p_1, vadinasi, $p_1 > p$.

Vykstant atmainai adiabatiškai, dujų pradinius ir galinius tūrius ir slėgimus (v_0, p_0 ir v, p) sieja toki pareinamybė:

$$p_0 v_0^k = p v^k.$$

Dujoms vėl įšilus iki pradinės jų temperatūros T_0, dujų temperatūra lyg kad ir visai nesikeitė, o pradiniai tūris ir slėgimas v_0 ir p_0 pakito į v ir p_1. Tokia atmaina vyksta izotermiškai, ir pagal Boyle'o Mariotte'o dėsnį

$$p_0 v_0 = p_1 v.$$

Iš šių dviejų lygčių gaunam:

$$\frac{v^k}{v_0^k} = \frac{p_0}{p} = \frac{p_0^k}{p_1^k}.$$

Taigi,

$$k = \frac{\ln \frac{p_0}{p}}{\ln \frac{p_0}{p_1}}.$$

Kai tūrio kitimas $v - v_0$ nedidelis, tai ir slėgimų kitimai $p_0 - p$ ir $p_0 - p_1$ bus taipgi maži. Taigi, apytiksliai.

$$\ln \frac{p_0}{p} \simeq \frac{p_0 - p}{p} \quad \text{ir} \quad \ln \frac{p_0}{p_1} \simeq \frac{p_0 - p_1}{p_1}.$$

Tokiu būdu,

$$k \simeq \frac{p_0 - p}{p_0 - p_1}.$$

Vieton pačių slėgimų galima imti jiems proporcingus dydžius, pvz., tuos slėgimus atsveriančių gyvojo sidabro stulpelių aukščius.

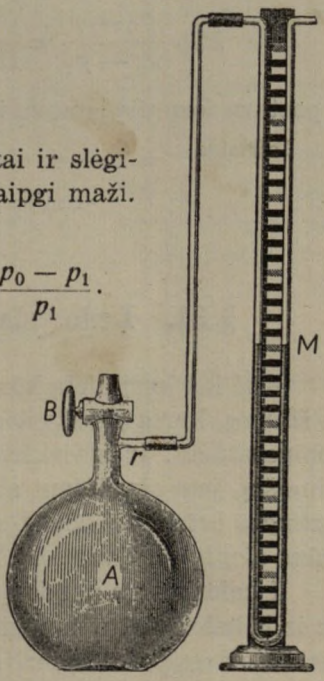

Fig. 70.

Taip matuojamė. Imame didelį, iki 10 l talpos, su plačiu kaklu ir dideliu čiaupu B stiklinį indą A (fig. 70). Jo kakle žemiau čiaupo esantį šoninį vamzdelį r sujungiam su gyvojo sidabro arba vandens manometru M, pakeliui įterpdami trišakį vamzdelį su čiaupu. Šis leidžia indą prijungti prie oro siurblio.

Uždarę čiaupą B, šiek tiek suslėgiam inde orą. Palaukę, kol slėgiant įšilęs oras atvės iki kambario temperatūros T_0, atskaitome manometro M gyvojo sidabro paviršių aukščių skirtumą h.

Kai barometro aukštis yra H, tai inde suslėgto oro slėgimą p_0 atsveria aukščio $H + h$ gyvojo sidabro stulpelis.

Staigiai vienam akimirksniui atidarome ir vėl uždarome čiaupą B. Inde esąs oras išsiskečia ir atvėsta. Jo slėgimas susilygina su kambario oro slėgimu p, kurį atsveria barometro gyvojo sidabro stulpelis H.

Atvėsęs oras šyla, jo slėgimas didėja. Kai oras įšyla iki kambario oro temperatūros ir gyvojo sidabro paviršių aukščiai manometre nebekinta, atskaitome tų aukščių skirtumą h_1. Dabar padidėjusį oro slėgimą p_1 atsveria gyvojo sidabro stulpas $H+h_1$.

Taigi, $p_0 \sim H+h$; $p \sim H$ ir $p_1 \sim H+h_1$; ir

$$k \simeq \frac{p_0 - p}{p_0 - p_1} = \frac{H + h - H}{H + h - H - h_1} = \frac{h}{h - h_1}.$$

Į pastarą formulą įstatom išmatuotus h ir h_1 ir išskaičiuojam k.

Jo klaida

$$\pm\Delta k = \pm k \left(\frac{\Delta h}{h} + \frac{2\Delta h}{h - h_1} \right).$$

§ 31. Ledo slaptoji skystėjimo šilima

Kad bet kurį kietą kūną suskystintų, reikalinga jam suteikti šilimos, kurią jis skystėdamas absorbuoja, nekeisdamas savo temperatūros. Ir atvirkščiai, kietėdamas skystas kūnas išlaisvina šią, jam skystėjant absorbuotą, šilimą. *Šilimos kiekis, reikalingas bet kurio kūno 1 gramo masei suskystinti, vadinama to kūno slaptąja skystėjimo šilima.*

Į kalorimetro vandenį įmestas ledo gabaliukas m g skystėja ir iš kalorimetro vandens ima reikalingą skystėjimui šilimą; jis absorbuoja mx kalorijų šilimos, kai jo slaptoji skystėjimo šilima yra x. Gautas, ledui suskystėjus, 0°C temperatūros vanduo šyla ir jo temperatūra pakyla iki kalorimetro vandens temperatūros t_2. Jam pašildyti reikalinga $m(t_2—0) = mt_2$ kalorijų. Taigi, viso absorbuojama $mx+mt_2$ kalorijų šilimos.

Šią šilimą atiduoda kalorimetro vanduo ir indas. Tegu kalorimetro indo masė yra m_1 g, vandens masė kalorimetre — M g, kalorimetro šilimos talpa m_1c_1, kur c_1 — specifinė kalori-

metro indo šilima (c_1=0,092); t_1 ir t_2 — pradinė ir galinė kalorimetro vandens temperatūros. Kalorimetro atiduotoji šilima lygi

$$(M+m_1c_1)\ (t_1—t_2).$$

Tokiu būdu,

$$mx + mt_2 = (M + m_1c_1)\ (t_1 — t_2).$$

Iš čia

$$x = \frac{(M + m_1c_1)\ (t_1 — t_2)}{m} — t_2.$$

Slaptąją ledo skystėjimo šilimą šitaip matuojame. Pasveriame tuščią kalorimetro (žrk. § 30) indą, su vandeniu ir surandam įpilto vandens masę. Įdėję termometrą, bent 10 min. sekame vandens temperatūrą, pasižymėdami termometro parodymą kas 0,5 arba 1 min. Paskui į kalorimetrą įmetame nedidelį (1—2 g) nusausintą ledo gabaliuką, maišom ir stebime vandens temperatūros kritimą. Suskystėjus ledui, dar 20 min. sekame vandens temperatūrą. Iš gautųjų davinių išskaičiuojame tikrąsias kalorimetro vandens pradinę ir galinę temperatūras t_1 ir t_2 (žrk. § 37). Paskui dar kartą pasveriame kalorimetro indą su vandeniu ir surandame suskystėjusio ledo masę.

Išmatuotus davinius įstatom į formulą ir išskaičiuojam slaptąją ledo skystėjimo šilimą.

Įvertiname jos klaidą

$$\pm\Delta x = \pm\left[\frac{(M + m_1c_1)\ (t_1 — t_2)}{m}\left(\frac{\Delta M + c_1\Delta m_1}{M + m_1c_1} + \frac{2\Delta t_1}{t_1 — t_2} + \frac{\Delta m}{m}\right) + \Delta t_2\right].$$

§ 32. Slaptoji garavimo šilima

Bet kuriam skysčiui išgarinti reikalinga jam suteikti šilimos, kurią jis garuodamas absorbuoja, nekeisdamas visai savosios temperatūros. Ir atvirkščiai, kondensuodamiesi garai išlaisvina šią garuojant absorbuotą šilimą. *Šilimos kiekis, reikalingas 1 gramo skysčio masei išgarinti, vadinama to skysčio slaptąja garavimo šilima.* Ją surandame šiais būdais.

1. Skystį garinant

Į kalorimetro vandenį įdedame indą su garinamuoju skysčiu ir pastarąjį gariname. Skystis garuodamas ima šilimą iš vandens ir šis vėsta. Išgaravus m g skysčio, sunaudojama mx kalorijų šilimos, kai skysčio slaptoji garavimo šilima x. Tiek šilimos netenka kalorimetras. Kai jo vandens masė yra M g, indo masė — m_3 g, šio specifinė šilima c_3, pradinė vandens temperatūra t_1, galinė t_2, tai kalorimetras bus atidavęs $(M + m_3c_3)\ (t_1 — t_2)$ kalorijų šilimos.

Likusi neišgaravusi skysčio dalis m_2 g taipgi atvėsta nuo tempratūros t_1 iki t_2; jei garinamo skysčio specifinė šilima c_2, tai ji vėsdama nustoja $m_2c_2(t_1—t_2)$ kalorijų šilimos.

Pagaliau vėsta ir indėlis, kuriame telpa garinamasis skystis, nuo temperatūros t_1 iki t_2. Kai jo masė m_4 g, specifinė šilima c_4, tai jis atiduoda $m_4c_4\ (t_1 — t_2)$ kalorijų šilimos.

Taigi, garinimo skysčio masei m išgarinti atiduota viso $(M + m_3c_3 + m_4c_4 + m_2c_2)\ (t_1 — t_2)$ kalorijų šilimos.

Tokiu būdu,

$$mx = (M + m_3c_3 + m_4c_4 + m_2c_2)\ (t_1 — t_2);$$

iš čia slaptoji garavimo šilima

$$x = \frac{(M + m_3c_3 + m_4c_4 + m_2c_2)\ (t_1 — t_2)}{m} \quad \ldots\ldots (1)$$

Slaptąją garavimo šilimą šiuo būdu matuojame. Iš pradžių pasveriame kalorimetro indą A tuščią ir su vandeniu; surandame vandens masę M g kalorimetre. Paskui pasveriame garinimo indelį C tuščią ir su garinamuoju skysčiu ir surandame garinamojo skysčio pradinį kiekį m_1 g. Garinimo indelį įdedame į kalorimetrą ir prijungiame prie vandens siurblio (fig. 71). Įstatome termometrą.

10—15 min. sekame vandens temperatūrą, pasižymėdami ją kas 0,5 arba 1 min. Vandens siurbliu praretinam orą ir traukiam susidariusius garinamo skysčio garus, tuo versdami visą laiką skystį garuoti. Taip gariname tiek laiko, kol kalorimetro vandens temperatūra nukrinta 0,5—0,8°. Tuomet siurblį sulaikom ir stebime vandens temperatūrą ilgesnį laiką (bent 20 min.), atskaitydami ją kas 0,5 arba 1 min.

Vėl pasveriame garinimo indelį su garinamuoju skysčiu ir surandame, kiek skysčio išgaravo.

Iš atskaitytų temperatūrų nustatome kalorimetro vandens pradinę ir galinę temperatūras t_1 ir t_2 (žrk. § 37). Įstatę išmatuotus davinius į formulą (1), išskaičiuojame slaptąją garavimo šilimą.

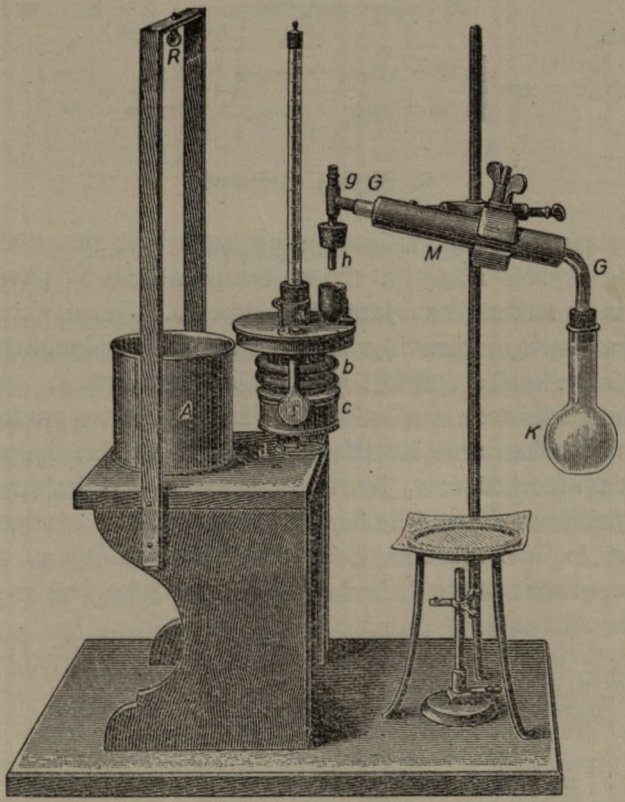

Fig. 71.

Kai garinimo indelis nedidelis, tai jo atiduotas šilimos kiekis $m_4c_4(t_1—t_2)$ tesudarys tik labai nedidelę visos atiduotos šilimos dalį, ir jos galime neskaityti. Tuomet formula (1) atrodys taip:

$$x = \frac{(M+m_3c_3+m_2c_2)\ (t_1—t_2)}{m} \quad \ldots\ldots\ldots (2)$$

Tada ieškomąją slaptąją garavimo šilimą skaičiuojame, įstatę išmatuotus davinius į pastarąją formulą.

Įvertinam atskirų matavimų ir išskaičiuoto rezultato klaidą, kuri lygi:
pirmajam atsitikime

$$\pm\Delta x = \pm x \left[\frac{\Delta M + \Delta m_3 c_3 + \Delta m_2 c_2 + \Delta m_4 c_4}{M + m_3 c_3 + m_2 c_2 + m_4 c_4} + \frac{2\Delta t_1}{t_1 - t_2} + \frac{\Delta m}{m} \right],$$

o antrajam

$$\pm\Delta x = \pm x \left[\frac{\Delta M + \Delta m_3 c_3 + \Delta m_2 c_2}{M + m_3 c_3 + m_2 c_2} + \frac{2\Delta t_1}{t_1 - t_2} + \frac{\Delta m}{m} \right].$$

2. Skystį virinant

Slaptąją garavimo šilimą galima surasti ir šiuo būdu. Pašildę m g skysčio masę iki virimo temperatūros T, paverčiame ją garais ir sukondensuojame kalorimetre. Garai skystėdami išlaisvina slaptąją garavimo šilimą, kuri šildo kalorimetro vandenį. Kai skysčio slaptoji garavimo šilima yra x, tai garai skystėdami atiduoda mx kalorijų šilimos. Be to, gautasis garams susikondensavus skystis atvėsta iki galinės kalorimetro vandens temperatūros t_2 ir atiduoda $mc(T—t_2)$ kalorijų; čia c — skysčio specifinė šilima. Kai kalorimetro vandens masė yra M g, jo indo masė m_1 g ir jo specifinė šilima c_1, pradinė ir galinė temperatūros t_1 ir t_2, tai kalorimetras bus gavęs

$$(M + m_1 c_1)(t_2 - t_1)$$ kalorijų šilimos.

Tokiu būdu

$$mx + mc(T - t_2) = (M + m_1 c_1)(t_2 - t_1).$$

Iš čia $$x = \frac{(M + m_1 c_1)(t_2 - t_1)}{m} - c(T - t_2).$$

Matuojame taip. Pasveriame kalorimetro indą A su garinamuoju indu C (fig. 71) tuščią ir su vandeniu. Surandame kalorimetro vandens masę M. Į bonką K įpilame tiriamo skysčio ir, įstatę vamzdį GG, pašildome skystį iki virimo temperatūros. Tuo pat laiku sekame kalorimetro vandens temperatūrą, atskaitinėdami ją kas 0,5 arba 1 min. Skysčiui užvirus, vamzdį GG sujungiame su garinamuoju indu C ir leidžiame garus į kalorimetrą. Maišome kalorimetro vandenį ir stebime jo temperatūrą. Kai ji pakyla 5—10°, vamzdį G atjungiame, bent 10 min. dar sekame kalorimetro vandens temperatūros kitimą, kol jis lieka tiesiog proporcingas laikui.

Vėliau vėl pasveriam kalorimetrą ir surandam sukondensuotų kalorimetre garų masę m. Apskaitome tikrąjį kalorimetro temperatūrų skirtumą (žrk. § 37), ir, įstatę davinius į formulą, išskaičiuojame slaptąją garavimo šilimą.

Įvertinam rezultato klaidą:

$$\pm\Delta x = \pm\left\{\frac{(M + m_1c_1)\ (t_2 - t_1)}{m}\left[\frac{\Delta M + c_1\Delta m_1}{M + c_1m_1} + \frac{\Delta t_2 + \Delta t_1}{t_2 - t_1} + \right.\right.$$

$$\left.\left. + \frac{\Delta m}{m}\right] + c(T - t_2)\left[\frac{\Delta T + \Delta t_2}{T - t_2}\right]\right\}.$$

§ 33. Skystėjimo temperatūra

Bet kurį kietą kūną galima pašildyti iki tokios temperatūros, prie kurios jis pradeda skystėti. Šią temperatūrą vadiname kūnų skystėjimo temperatūra. Kol kūnas skystėja, jo temperatura ir šildant nekinta: tiekiama šilima tik skystina kūną. Kai suskystėja paskutinis kieto kūno gabalėlis, gauto skysčio temperatūra vėl pradeda kilti. Atvėsinus skystį iki jo skystėjimo temperatūros, jis pradeda kietėti (šalti), kristalizuotis ir išlaisvina skystėjant absorbuotą slaptąją šilimą. Kol visas skystis sukietėja, jo temperatūra pasilieka pastovi ir, tik vėliau, vėl pradeda kristi. Atsargiai vėsinant skystį, galima peršaldyti: kūnas pasilieka skystas ir žemiau skystėjimo temperatūros. Tokį būvį vadiname peršaldymu. Jei peršaldytą skystį pamaišyti arba į jį įmesti kieto kūno gabalėlį, tai skystis pradeda staigiai kietėti, kristalizuotis ir išlaisvina slaptąją skystėjimo šilimą. Ši pašildo kietėjantį skystį iki skystėjimo temperatūros, bet ne aukščiau; nors ir būtų šilimos perteklius, kuris kūną galėtų šildyti ir daugiau, bet, skystėjimo temperatūrą pasiekus, jau sukietėjusi skysčio dalis vėl pradeda skystėti ir absorbuoja šį šilimos perteklių. Tik nedaug (1—2°) skystį teperšaldžius galima būti tikram, kad išlaisvinta slaptoji šilima pajėgs skystį pašildyti iki skystėjimo temperatūros.

Skystėjimo temperatūrą šiuo būdu nustatome. Į mėgintuvėlį įberiame 2—3 cm^3 kieto susmulkinto kūno, pvz., druskos, ir įstatome termometrą; mėgintuvėlį įdedam į indą su vandeniu. Pastarąjį pamažu šildome; tam tikrais vienodais laiko

tarpais (pvz., kas 1 min) atskaitinėjame temperatūrą. Pastebime, kai kūnas ima skystėti: tuo laiku temperatūros kilimas sulėtėja, jei ne visai sustoja. Visai suskystėjus, atimame šildiklį ir atsargiai vėsiname skystį, sekdami temperatūros kritimą. Kai skysčio temperatūra nukrinta žemiau pastebėtos skystėjimo temperatūros 1—2°, termometru pamaišome skystį arba įmetame kieto kūno gabalėlį. Temperatūra pakyla ir po kiek laiko vėl pradeda kristi. Toks temperatūros kilimas ypač ryškus, kai skystis vėsinamas ore, išėmus mėgintuvėlį iš vandens. Kai peršaldyto būvio negauname, matavimą kartojam. Baigus matavimą, vėl suskystiname kietą druską, atsargiai išimame termometrą ir išpilame skystį.

Išbrėžiame skystėjimo ir vėsimo kreivę. Vienoje stačiakampių koordinatų ašyje sužymime laikus, antroje — atitinkamas temperatūras; tarp gautųjų taškų ir vedame kreivę. Surandame tiriamojo kūno skystėjimo temperatūrą.

Įvertiname klaidą.

§ 34. Virimo temperatūros pareinamybė nuo slėgimo

Skystis verda, kai jo sočių garų slėgimas yra lygus išoriniam slėgimui. Taigi, skysčio virimo temperatūra pareina nuo išorinio slėgimo. Kai šis yra lygus 1 atmosferai (barometro aukštis 76 cm), vanduo verda turėdamas 100°C temperatūrą, o esant slėgimui 5 ata — 152°.

1. Virimo temperatūra didesniems, kaip atmosfera, slėgimams

Tuomet virimo temperatūra šiuo būdu nustatoma. Imame taip vadinamą Papin'o katilą — storų sienų metalinį indą (fig. 72), aklai uždarytą metaliniu dangčiu. Dangtis turi du lizdus — metaliniam manometrui ir termometrui įdėti. Į termometro lizdą įpilame gyvojo sidabro, kad būtų didesnė šiliminė laida. Pro dangčio skylę katilan įpilame vandens ir ją uždarome metaliniu, gerai pritrintu, kamščiu. Pastarasis kietai sujungtas su antros rūšies svirtimi, ant kurios užmautas

stumdomas 1 kg svorio svarelis. Svirties padalinimai parodo, kiek kilogramų (ap. atmosferų) slėgia svarelis kamštį.

Kai katile šildomo vandens garų slėgimas tiek padidėja, kad garai pajėgia pakelti kamštį ir išeiti laukan, vanduo pradeda virti ir jo temperatūra nebekinta. Padidinus slėgimą, virimas sustoja. Vandens temperatūra kyla, kol garų slėgimas nugali svirties svarelio slėgimą į kamštį ir gali jį vėl atidaryti.

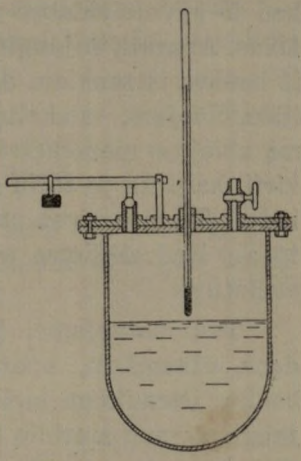

Fig. 72.

Slėgimą didiname stumdami svarelį ir kiekvieną kartą atskaitome verdančio vandens temperatūrą. Slėgimą keičiame nuo 1 at (kai skylė atidara) iki 5 at. Išbrėžiame kreivę: vienoje stačiakampių koordinatų ašyje sužymime slėgimus (at), antroje — atitinkamas temperatūras ir tarp gautųjų taškų išvedame kreivę.

Prie didesnių slėgimų nereikia kilnoti svirties, kad staigiai išsiveržę garai nenuplikytų.

2. Virimo temperatūra mažesniems, kaip atmosfera, slėgimams

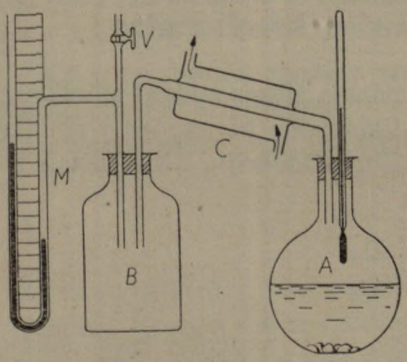

Fig. 73.

Esant mažesniems slėgimams vandens virimo temperatūrą matuojame prietaisu, kurį vaizduoja fig. 73.

Virimo bonka *A* sujungta su aušintuvu *C*, kurio antrasis galas įeina į didelį indą *B*. Pastarasis sujungtas su gyvojo sidabro manometru *M*. Jungiamasis vamzdis turi atšaką su čiaupu *V*, kuri aparatą jungia su oro siurbliu.

Į virinimo indą įpilame vandens ir užkemšame guminiu kamsčiu; į kamščio skylę įstatome tikslesnį termometrą taip,

kad jo gyvojo sidabro rutuliukas būtų aukščiau skysčio paviršiaus. Aparatą sujungiame su oro siurbliu ir, atidarę čiaupą V, iš bonkos ištraukiam dalį oro. Likusiojo bonkoje oro slėgimą išskaičiuojam, atskaitę gyvojo sidabro stulpų aukščių skirtumą abiejose manometro M šakose. Pašildytas vanduo pradeda virti, kaip tik jo sočių garų slėgimas tampa lygus oro slėgimui inde. Termometras parodo verdančio vandens garų temperatūrą. Kad slėgimas nedidėtų, vandens garai kondensuojami aušintuve.

Taip matuojame. Į virinimo bonką įpilam iki $^1/_3$ tūrio vandens, užkemšam, aparatą prijungiam prie oro siurblio ir iš bonkos ištraukiam kiek galint daugiau oro. Tada aparatą atjungiame nuo siurblio ir vandenį tiek šildome, kad jis užvirtų, atskaitome temperatūrą ir gyvojo sidabro stulpų aukščių skirtumą manometre. Atsargiai atsukame čiaupą V ir į bonką įleidžiame šiek tiek oro ir vėl užviriname vandenį. Atskaitome naują temperatūrą ir aukščių skirtumą. Išmatuojame vandens virimo temperatūrą, kai gyvojo sidabro stulpelių aukščių skirtumas manometre yra 500, 300, 200, 100, 50, 25 mm.

Išbrėžiam kreivę, sužymėdami vienoje stačiakampių koordinatų ašyje gyvojo sidabro stulpo aukščius, kurio svoris atsveria oro slėgimus bonkoje, arba ir pačius slėgimus, antroje — atitinkamas virimo temperatūras.

§ 35. Šildymo naudos kooeficientas

Ne visa šilimos šaltinio duodama šilima šildant suteikiama šildomajam kūnui; dalis jos išsisklaido be naudos į aplinką. Kai šilimos šaltinis duoda Q_1 šilimos kalorijų, o šildomasis kūnas gauna Q_2, tai.

$$\eta = \frac{Q_2}{Q_1}$$

yra šildymo naudos koeficientas, t. y. santykis tarp šilimos kiekio, reikalingo kūnui pašildyti, ir šilimos kiekio, išeikvoto šiam reikalui.

Į spiritinę lemputę įpilam spirito ir pasveriam; taip pat pasveriam indą be vandens ir su vandeniu ir surandam įpilto

vandens masę M g; termometru išmatuojame jo temperatūrą t_1. Uždegę lemputę, pašildome vandenį ir, gerai išmaišę, atskaitome pakilusią jo temperatūrą t_2.

Šildomasis vanduo gavo

$$Q_2 = M(t_2 — t_1)$$ kalorijų šilimos.

Antrą kartą pasvėrę lemputę, surandame sudegusio spirito masę m g. 1 g spirito masei sudegus gauname 7100 kal. Taigi, spiritui degant gauta viso

$$Q_1 = 7100 \cdot m \text{ kal.}$$

Todėl

$$\eta = \frac{M(t_2 — t_1)}{7100 \cdot m} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

Įstatę išmatuotus davinius į formulę (1), apskaitome η.

Įvertiname klaidą:

$$\pm \Delta \eta = \pm \eta \left(\frac{\Delta M}{M} + \frac{2\Delta t_2}{t_2 — t_1} + \frac{\Delta m}{m} \right).$$

§ 36. Lyginamoji oro drėgmė

Lyginamąja oro drėgme vadiname santykį tarp esamo vandens garų ore kiekio ir to vandens garų kiekio, kuris sotina tos pačios temperatūros orą.

Kai g yra esamų vandens garų kiekis (išreikštas gramais) arba absoliutinė oro drėgmė, G — garų kiekis, kuris sotintų tos pačios temperatūros orą, tai lyginamoji oro drėgmė

$$R = \frac{g}{G}.$$

Vandens garų kiekiai yra proporcingi jų slėgimams, taigi, proporcingi ir gyvojo sidabro stulpelių aukščiams, kurie atsveria garų slėgimą; pažymėję pastaruosius atitinkamai p ir P, gauname:

$$R = \frac{p}{P}.$$

Lyginamajai oro drėgmei rasti vartojame Augusto psichrometrą. Jį sudaro du termometrai (fig. 74). Termometro *B* rutuliuką *D* aptraukiame drobiniu arba kitokios higroskopinės medžiagos apvalkalėliu; pastarąjį sušlapiname vandeniu. Šis garuodamas reikalingą garavimui šilimą ima iš paties termometro ir jo artimiausios aplinkos oro; termometro temperatūra krinta. Kad termometro aplinkos oras neprisisotintų vandens garais, jis sujudinamas vėduokle, arba ant termometro uždedame ventiliatorių, kuris sukdamasis sukelia oro srovę. Susidarius termometrui gretimo ir tolimesnio nuo jo oro temperatūrų skirtumui, šilima iš tolimesnės aplinkos pradeda eiti link termometro. Kai šilimos tiek priteka, kiek jos reikalinga vandens garinimui, įvyksta pusiausvyra: sušlapinto termometro temperatūra nustoja kritusi. Sausasis *A* ir sušlapintasis *B* termometrai rodys skirtingas temperatūras t_1 ir t_2.

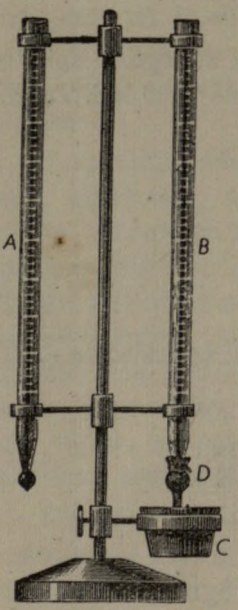

Fig. 74.

Tada garavimas vyks greičiau, taigi ir abiejų termometrų temperatūrų skirtumas bus tuo didesnis, kuo ore esančių garų slėgimas bus mažesnis už tų garų slėgimą, kurie sotina temperatūros t_2 orą; ir atitinkamai esančių ore garų slėgimą atsveriančio gyvojo sidabro stulpelio aukštis p bus mažesnis už gyvojo sidabro stulpelio aukštį p_1, kurio slėgimas atsveria sočių temperatūros t_2 garų slėgimą. Taigi, temperatūrų skirtumas $t_1 - t_2$ bus proporcingas skirtumui $p_1 - p$. Be to, vanduo garuos tuo greičiau, kuo oro slėgimas b bus mažesnis; taigi, $t_1 - t_2$ yra atvirkščiai proporcingas b. Proporcingumo koeficientą pažymėję $\frac{1}{k}$, gauname:

$$t_1 - t_2 = \frac{1}{k} \cdot \frac{p_1 - p}{b};$$

iš čia

$$p = p_1 - kb(t_1 - t_2).$$

Aparato konstantą k surandame tyrimo keliu; turimo aparato $k = 0{,}0008$, kai $t_2 > 0^0$C ir $k = 0{,}00069$, kai $t_2 < 0^0$C.

Lygimąją drėgmę taip surandame. Sušlapinę aprištą termometrą, užsukame ventiliatorių ir sekame termometro temperatūrą. Kai ji nustoja kritusi, ją atskaitome; tuo pat metu atskaitome ir sauso termometro temperatūrą ir surandame temperatūrų skirtumą.

Atskaitome barometro aukštį (mm). Iš higrometrinės lentelės (lentelė 14) randame t_1 ir t_2 temperatūrų sočių vandens garų slėgimus atsveriančių gyvojo sidabro stulpelių aukščius P ir p_1 (mm).

Išskaičiuojame p ir R.

Matuojame 2—3 kartus.

Įvertiname atskirų matavimų ir išskaičiuotų rezultatų klaidas:

$$\pm \Delta p = \pm \left[kb(t_1 - t_2) \left(\frac{\Delta b}{b} + \frac{2\Delta t}{t_1 - t_2} \right) + \Delta p_1 \right]$$

ir

$$\pm \Delta R = R \left(\frac{\Delta p}{p} + \frac{\Delta P}{P} \right).$$

§ 37. Kalorimetro temperatūrų pataisa

Paprastai kalorimetro vandens temperatūra skiriasi nuo aplinkos, kambario oro temperatūros. Vanduo šyla, kai jo temperatūra yra žemesnė už aplinkos temperatūrą ir, atvirkščiai, vėsta, kai jo temperatūra yra aukštesnė. Taigi, kalorimetro vandens temperatūros pasikeitimą sąlygoja ne tik įmestas į kalorimetrą pašildytas tiriamas kūnas arba tirpstąs ledo gabaliukas, bet ir pati aplinka, kuri duoda arba paima spinduliavimo bei laidumo keliu šilimą. Matuojamas temperatūrų skirtumas tiksliai neparodo vandens temperatūros kitimo, kokį sukelia tiriamo kūno atiduota arba paimta šilima. Darant tikslesnius matavimus, tenka ieškoti tikrąjį temperatūrų skirtumą, kuris būtų, kai kalorimetras visiškai nešiltų ir nevėstų. Jį paprastai surandame šiuo būdu.

1. būdas

Sekame kalorimetro vandens temperatūrą, atskaitinėdami ją kas 0,5 arba 1 min. bent 10 min. prieš pat tyrimą ir 20 min.

tyrimą atlikę. Išbrėžiame temperatūros kitimo kreivę, vienoje koordinatų ašyje sužymėję laiką, antroje — temperatūrą (fig. 75). Iš pradžių temperatūra kinta lėtai, tyrimą atliekant (laiko tarpas *ab*) ji staiga pasikeičia (padidėja arba sumažėja) ir pasiekia didžiausią (arba mažiausią) vertę; vėliau jos kitimas lėtėja, kol pagaliau pradeda kitėti veik tuo pačiu greičiu, kaip ir prieš tyrimą. Šiuos kitimus vaizduoja kreivės tiesiosios dalys.

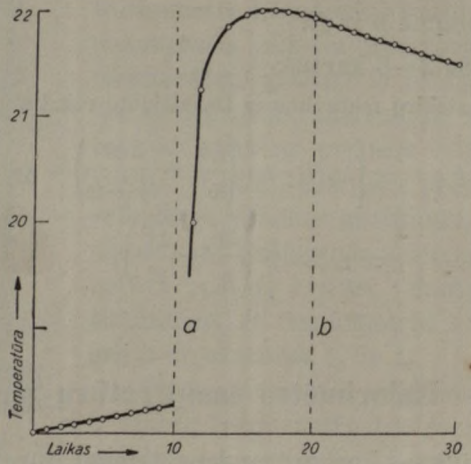

Fig. 75.

Newton'o vėsimo dėsnis sako, kad spinduliuojančio kūno mažas temperatūros kitimas yra tiesiog proporcingas spinduliuojančio kūno ir aplinkos temperatūrų t_1 ir t_2 skirtumui. Iš kreivės tiesiųjų dalių surandame kalorimetro temperatūros pakitimą τ, kai jo ir aplinkos temperatūrų skirtumas yra 1^0.

Toliau nustatome kalorimetro vidutinę temperatūrą tyrimo laikui *ab*. Šį laiko tarpą dalijame į nedidelius tarpelius, sudedame atitinkančias tuos tarpelius temperatūras ir sumą dalijame iš tarpelių skaičiaus. Šios vidutinės ir aplinkos temperatūrų skirtumą padauginę iš τ, gauname reikalingą temperatūros pataisą.

Kad aiškiau būtų, imsime pavyzdį. Kalorimetro vandens temperatūrą sekame 10 min. prieš pat tyrimą ir 20 min. tyrimą atlikus, pvz., pašildytą kūną įmetus į kalorimetrą. Kambario oro temperatūra 19,45°.

Daviniai:

Min.	Temp.	Min.	Temp.	Min.	Temp.
0	18,04	10	18,19	20	21,97
1	,06	11	19,8	21	,94
2	,07	12	21,0	22	,92
3	,09	13	21,7	23	,89
4	,10	14	21,9	24	,87
5	,12	15	22,0	25	,84
6	,13	16	22,04	26	,83
7	,15	17	22,04	27	,79
8	,16	18	22,02	28	,76
9	,17	19	22,00	29	,74
10	,19	20	21,97	30	,71

Vidutinės temperatūros:

prieš tyrimą: 18,12°;

po tyrimo, tarp 20-tos ir 30-tos min.: 21,83°.

Temperatūros kitimas per 1 minutę:

prieš tyrimą: $\frac{18,17 - 18,04}{9} = 0,0144,$

tarp 20-tos ir 30-tos min.: $\frac{21,97 - 21,71}{10} = 0,026.$

Temperatūros kitimas per 1 minutę, kai kalorimetro ir aplinkos temperatūros skiriasi 1°:

prieš tyrimą: $\frac{0,0144}{19,45 - 18,12} = 0,011°,$

tarp 20-tos ir 30-tos min.: $\frac{21,83 - 19,45}{0,026} = 0,011°.$

Kalorimetro vidutinė temperatūra tarp 10-tos ir 20-tos min.: 21,46°.

Kalorimetro temperatūros pataisa:

$$10 . (21,46 - 19,45) . 0,011 = 0,22°.$$

Tiek tempartūra nukrito per 10 minučių.

Kalorimetro galinė pataisyta temperatūra:

$$21,97 + 0,22 = 22,19°.$$

Tikrasis kalorimetro temperatūrų skirtumas:

$$22,19° - 18,19° = 4,00°.$$

2. būdas

Pradinė kalorimetro vandens temperatūra yra tiek mažesnė (arba didesnė) už aplinkos temperatūrą, kiek jo galinė didesnė (arba mažesnė) už ją. Tuomet apytiksliai kalorimetro absorbuotas ir išspinduliuotas šilimos kiekiai bus lygūs, ir spinduliavimo pataisa lygi nuliui. Matavimus paprastai taip tvarkome. Kai iš anksto bent apytikriai žinome, kiek gali pakilti vandens temperatūra, vandenį atvėsiname tiek žemiau kambario temperatūros, kad pakilusi jo temperatūra būtų tiek pat aukštesnė už kambario oro temperatūrą.

ŠVIESA

§ 38. Fotometras

Šviesos šaltinio jėgos vienetas yra Hefner'io žvakė; tokia šviesos jėga šviečia amilacetatinė lemputė, turinti 8 mm storio dagtį, kai jos liepsnos aukštis 4 cm (fig. 76).

Nušvietimo jėgos vienetas yra liuksas; tokį nušvietimą duoda Hefner'io žvakė 1 metro nuotolyje, kai šviesos spinduliai krinta stačiai į nušviečiamąją plokštumą.

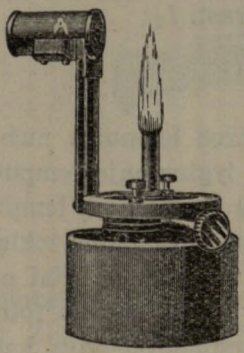

Fig. 76.

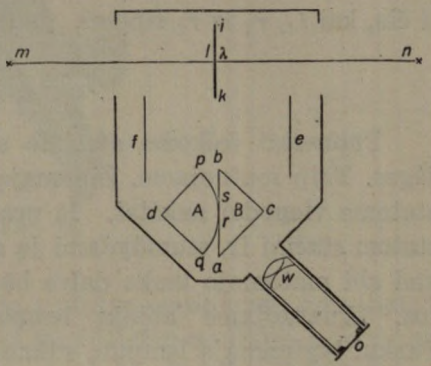

Fig. 77.

Nušvietimo jėga pareina nuo nuotolio tarp šviesos šaltinio ir nušviečiamojo objekto; ji yra atvirkščiai proporcinga antrajam nuotolio laipsniui. Kai du įvairių jėgų I_1 ir I_2 šviesos šaltiniai vienodai stipriai nušviečia bet kurią plokštumą, tai jų jėgos yra tiesiog proporcingos jų nuotolių r_1 ir r_2 nuo nušviečiamos plokštumos antriesiems laipsniams.

Šviesos šaltinių bei nušvietimo jėgoms lyginti vartojame fotometrus. Fig. 77 vaizduoja Brodhun-Lummer'io fotometrą. Žinomos jėgos šviesos šaltinio *n* šviesa krinta į vieną gipsinės plokštelės *ik* pusę, o lyginamojo šaltinio *m* — į antrą. Išsklaidyta šviesa pasiekia veidrodžius *e* ir *f*, o nuo jų atsispindusi ei-

na į fotometrą. Fotometrą sudaro dvi įstrižainėmis plokštumomis sudėtos stačiakampės stiklo prizmos A ir B. Prizmos A įstrižainė tik viduryje yra plokščia ir teliečia prizmą B. Lietimosi vietoje rs prizmos sulipdytos Kanados balzamu. Tik šią vietą šviesos spinduliai pereina kiaurai, o visur kitur visiškai atsispindi. Nušviečiamą lauką stebime žiūronu O. Šviesos šaltinio m viduriniai spinduliai pakliūva į žiūroną ir nušviečia vidurinę ovalo pavidalo stebimojo lauko dalį. Kraštiniai jo spinduliai, visiškai atsispindę, nueina į šalį ir yra panaikinami. Šviesos šaltinis n nušviečia kraštinę lauko dalį — žiedą; perėję per prizmų lietimosi vietą, jo viduriniai spinduliai nebepatenka į žiūroną. Kai šviesos šaltiniai tiek nutolę nuo fotometro, kad abi stebimojo lauko dalis nušviečia vienodai, tai tuomet jų jėgos I_1 ir I_2 santykiuoja, kaip jų nuotolių r_1 ir r_2 nuo fotometro antrieji laipsniai, taigi,

$$I_1 : I_2 = r_1^2 : r_2^2,$$

iš čia, kai I_1, r_1 ir r_2 žinomi, galima rasti I_2:

$$I_2 = I_1 \frac{r_2^2}{r_1^2}.$$

Paprastai ieškome sferinio elektros lemputės nušvietimo jėgos. Taip matuojame. Žinomąją ir lyginamąją lemputes nustatome vienodai aukštai. Iš pradžių lyginamąją lemputę pastatom stačiai ir, stumdydami ją suolu, surandame tokią vietą, kad abi matomojo lauko dalys būtų vienodai stipriai nušviestos. Išmatuojame abiejų lempučių nuotolius nuo fotometro. Paskui lyginamąją lemputę sukame aplink 180° taip, kad prieš fotometrą iš pradžių rastųsi vienas jos šonas, vėliau jos galas, o paskui — antras šonas. Kas 15° surandame lempučių nuotolius nuo fotometro, kai lauko dalys vienodai nušviestos.

Įstatę išmatuotus davinius į formulą, išskaičiuojame tiriamosios lemputės šviesos jėgas, įvairiai ją pasukus. Išbrėžiame jos jėgos sferinę kreivę polinėje koordinatų sistemoje.

Atskaitymų klaidą taip vertiname. Kai sulyginam abiejų lempučių nušvietimą, pastumiame fotometrą iš pradžių į vieną, o paskui į antrą pusę tiek, kad nušvietimo jėgos nedaug, bet jau stebimai pasikeistų. Atskaitytų davinių skirtumas, padalintas pusiau, duoda matavimo klaidą. Rezultato klaida

$$\pm \Delta I_2 = \pm I_2 \left(\frac{2\Delta r_1}{r_1} + \frac{2\Delta r_2}{r_2} \right).$$

§ 39. Goniometras

Goniometru matuojame prizmų ir kirstalų kampus. Figūra 78 vaizduoja atspindžio goniometrą. *K* yra kolimatorius, *Ž* — žiūronas. Kolimatoriaus plyšys randasi jo lęšio didžiajame židinyje, todėl, plyšį nušvietus, gaunama lygiagrečių spin-

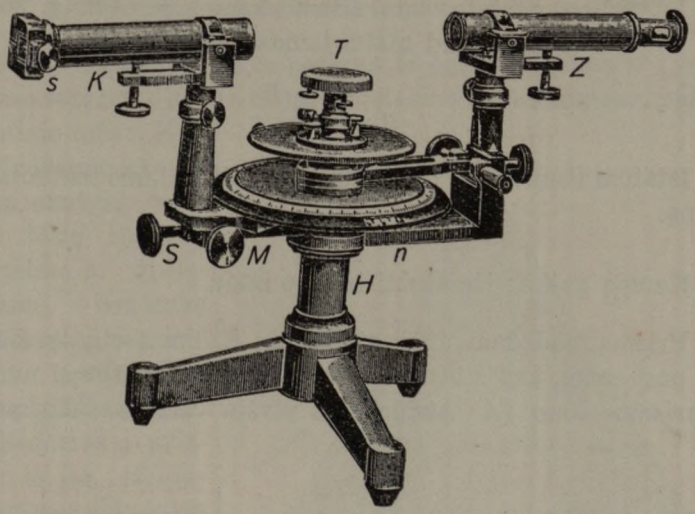

Fig. 78.

dulių pluoštas. Sukant sraigtą *s* plyšys platinamas arba siaurinamas. Žiūronas sujungtas su goniometro nonijum *n* ir sukasi drauge su juo apie goniometro stovą *H*. Stambius sukimus atliekame rankomis, atsukę sraigtą *S*, smulkius — mikrometriniu sraigtu *M*. Goniometro staliuką *T* galima priveržti ir atleisti nuo goniometro skalos, padalintos laipsniais ir jų dalimis.

1. Kampų matavimas

Kolimatoriaus plyšį nušviečiame monochromatine natrio šviesa. Žiūroną atsukame tiesiai prieš kolimatorių ir su mikrometriniu sraigteliu *M* taip pastatom, kad gautųsi aiškus plyšio vaizdas. Vidurinę goniometro dalį — staliuką *T* ir skalą — pritvirtiname nejudomai. Ant staliuko vidurio pastatom prizmą

ir matuojamąjį kampą atsukame tiesiai prieš kolimatorių. Žiūroną pasukam taip, kad pro jį žiūrėdami matytume atsispindusį nuo vieno prizmos šono plyšio vaizdą ir kad žiūrono siūlų sankryža būtų to vaizdo viduryj, kaip parodyta fig. 79. Atskaitome kampą a ir sukame žiūroną tol, kol pamatom atsispindusį nuo antro prizmos šono plyšio vaizdą. Tinkamai nustatę, atskaitome kampą b. Iš fig. 80 aiškėja, kad matuojamas kampas

Fig. 79.

$$g = \frac{a - b}{2}.$$

Įstatom išmatuotus davinius ir išskaičiuojame matuojamąjį kampą.

Kampą galime išmatuoti ir šiuo būdu.

Prizmą padedam ant staliuko. Kolimatorių ir žiūroną taip pasukame, kad žiūrono siūlų sankryžoje matytųsi nuo vieno prizmos šono (A) atsispindęs plyšio vaizdas. Atskaitome

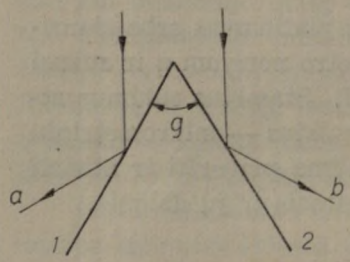

Fig. 80.

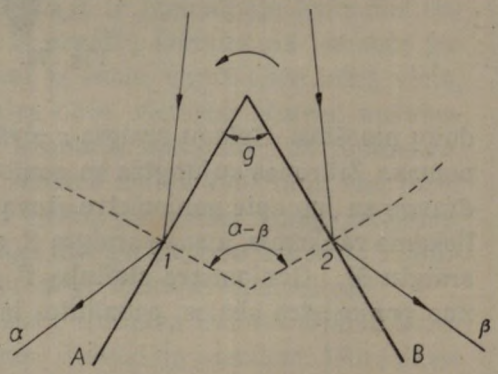

Fig. 81.

kampą α. Prizmą su skala tiek pasukame, kad žiūrone matytųsi atsispindęs nuo antrojo prizmos šono (B) plyšio vaizdas. Šį nustatome siūlų sankryžoje. Atskaitome kampą β. Matuojamas prizmos kampas (fig. 81)

$$g = 180^0 - (\alpha - \beta).$$

Įstatome davinius ir išskaičiuojam g.

Įvertiname rezultato klaidą; pirmuoju būdu matuojant

$$\pm \Delta g = \pm 1/2\ (\Delta a + \Delta b),$$

antruoju

$$\pm \Delta g = \pm (\Delta \alpha + \Delta \beta).$$

2. Minimum atlenkimo kampas. Lūžio rodiklis

Kai šviesos spindulys pereina iš optiškai retesnio į optiškai tankesnį medijų, jis lūžta, artėdamas prie statmens, pakelto iš kritimo taško. Kritimo ir lūžimo kampų sinusų santykį vadiname lūžio rodikliu ir žymime μ. Jį surandame, išmatavę šviesos spindulių minimum atlenkimo kampą prizmoje.

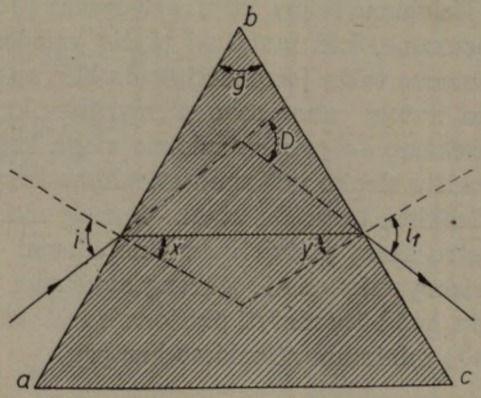

Fig. 82.

Įeidamas į prizmą ir iš jos išeidamas šviesos spindulys lūžta, artėdamas į jos pamatą ac. Kai spindulys įeina į prizmą ir išeina iš jos simetriškai, t. y. kai kampai, kuriuos sudaro spindulys su statmeniu, pakeltu iš kritimo taško, įeidamas ir išėjęs iš prizmos, yra lygūs, tuomet jis kuo mažiausiai atsilenkia nuo savo pirmykštės krypties. Tada (fig. 82)

$$i = i_1 \text{ ir } x = y.$$

Atlenkimo kampas

$$D = (i - x) + (i_1 - y) = 2i - 2x,$$

o prizmos laužiamasis kampas

$$g = 180 - (180 - 2x) = 2x; \quad \text{taigi, } x = g/2.$$

Todėl

$$D = 2i - g$$

ir

$$i = \frac{D + g}{2}.$$

Lūžio rodiklis $\mu = \frac{\sin i}{\sin x}$; įstatę i ir x reikšmes, gauname:

$$\mu = \frac{\sin\left(\frac{D+g}{2}\right)}{\sin\,(g/2)} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

Ant goniometro staliuko pastatome prizmą. Kolimatorių taip pasukame, kad iš jo plyšio išėjęs monochromatinės šviesos spindulių pluoštas kristų į prizmos šoną. Šis, įeidamas į prizmą ir išeidamas iš jos, lūžta, artėdamas į jos pamatą. Žiūroną taip pasukame, kad matytųsi plyšio vaizdas. Sukinėdami prizmą, randame tokią jos padėtį, kada lūžę spinduliai yra kuo mažiausiai nutolę nuo savo pirmykštės krypties. Šią padėtį taip susekame — prizmą sukame viena kryptim: plyšio vaizdas iš pradžių slenka mažesnio atlenkimo kryptim, pasiekia minimum atlenkimą ir grįžta atgal. Suradę minimum atlenkimą, goniometro skalą pritvirtiname nejudomai ir atskaitome kampą a. Prizmą nuimame ir žiūroną atsukame tiesiai prieš kolimatorių taip, kad būtų matyti plyšio vaizdas. Atskaitom kampą b. Spindulio minimum atlenkimo kampas

$$D = b - a.$$

Vėliau išmatuojame prizmos laužiamąjį kampą. Davinius įstatom į formulą (1) ir išskaičiuojame lūžio rodiklį.

Įvertiname atskirų matavimų ir išskaičiuoto rezultato klaidą. Pastaroji lygi:

$$\pm\Delta\mu = \pm\mu\left[\frac{\Delta\sin\left(\frac{g+D}{2}\right)}{\sin\left(\frac{g+D}{2}\right)} + \frac{\Delta\sin(g/2)}{\sin(g/2)}\right],$$

čia $$\pm\,\Delta\sin\left(\frac{g+D}{2}\right) = \pm\left[\sin\left(\frac{D+g+\Delta D+\Delta g}{2}\right) - \sin\left(\frac{g+D}{2}\right)\right]$$

ir $$\pm\,\Delta\sin\left(\frac{g}{2}\right) = \pm\left[\sin\left(\frac{g+\Delta g}{2}\right) - \sin\left(\frac{g}{2}\right)\right].$$

§ 40. Lęšio didžiojo židinio nuotolis

Lygiagrečių pamatinei optikos ašiai spindulių pluoštas, eidamas pro lęšį, lūžta ir susirenka viename taške — lęšio didžiajame židinyje. Šio nuotolį nuo lęšio vadiname didžiojo židinio nuotoliu. Jį matuojame įvairiais būdais.

1. Sferometru

Bet kurio lęšio didžiojo židinio nuotolį F, jo paviršių kreivumo stipinus R_1 ir R_2 ir lūžio rodiklį μ sieja ši pareinamybė:

$$F = \frac{1}{(\mu - 1)\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

Kai abu lęšio paviršiai yra vienodai kreivi ($R_1 = R_2 = R$), tai

$$F = \frac{R}{2(\mu - 1)} \quad \ldots\ldots\ldots (1a)$$

Žinant lūžio rodiklį μ ir stipiną R galima išskaičiuoti F.

Fig. 83 rodo rutulį, nubrėžtą lęšio kreivumo stipinu R. ABC_2 — rutulio nuopiova, S — jos aukštis, $EC_2 = \rho$ — rutulio nuopiovos ABC_2 apskritimo stipinas, $C_1C_2C_3$ įrašytas į tą apskritimą lygiašonis trikampis, kurio kraštinės ilgis $l = \rho\sqrt{3}$.

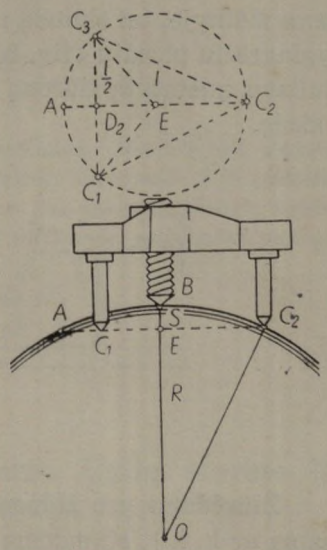

Fig. 83.

Iš geometrijos turime:

$$S : \rho = \rho : (2R - S).$$

Antra vertus, $\rho = l/\sqrt{3}$. Įstatę ρ reikšmę, gauname:

$$R = \frac{1}{6}\frac{l^2}{S} + \frac{1}{2}S \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

S išmatuojame sferometru. Ant lęšio paviršiaus pastatome mažą sferometrą ir tiek sukam jo sraigtą, kad smailagalys vos liestų lęšio paviršių. Atskaitę sferometro skalą, pastatome

jį ant lygios plokštelės ir sukame sraigtą tol, kol šis palies plokštelės paviršių. Vėl atskaitome skalą. Abiejų atskaitymų skirtumas duoda aukštį nuopiovos, kurią gautume, nupiovę lešį per sferometro kojelių lietimosi taškus.

Popierio lape įspaudžiame sferometro kojelių žymes ir išmatuojame nuotolius tarp jų l_1, l_2 ir l_3. Apskaitę jų aritmetišką vidurkį, randame nuotolį l tarp sferometro kojelių. S ir l įstatę į formulą (2), išskaičiuojame kreivumo stipiną R.

Tokiu pat būdu surandam ir lęšio antro paviršiaus kreivumo stipiną. Įstatę gautus davinius į formulą (1), o kai $R_1 = R_2$ — į (1a), išskaičiuojame lęšio didžiojo židinio nuotolį F.

2. Optikos suolu

Kai šviesos šaltinis ar ekranas E randasi lęšio L_1 didžiajame židinyje, tai sklindą nuo jų spinduliai, perėję pro lęšį, eina lygiagrečiu pluoštu (fig. 84). Šis, patekęs į lygiagrečiams spinduliams nustatytą žiūroną $Ž$, duoda šviesos šaltinio arba ekrano vaizdą.

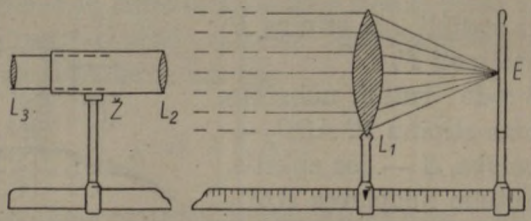

Fig. 84.

Žiūrėdami pro žiūroną į tolimą (1—3 km) daiktą (medį, namą ar k. k.), stumdome jo okuliarą L_3, kol visai ryškiai matome stebimą daiktą. Iš toli atėję spinduliai yra beveik lygiagretūs; pro taip nustatytą žiūroną aiškiai matysime tik tuomet, kai į jį ateis bemaž lygiagrečių spindulių pluoštas. Žiūroną pastatome prie optikos suolo ir, pasukę į lęšio centrą, žiūrime su juo pro lęšį į ekrano smulkias raides. Stumdydami lęšį L_1 į vieną arba į antrą pusę randame tokią vietą, kada ekrano raidės matome visai aiškiai. Tuomet ekranas yra lęšio didžiajame židinyje. Ekrano nuotolis nuo lėšio centro bus didžiojo židinio nuotolis F. Jį atskaitome optikos suolo skaloje.

* * *

Lęšio laužiamąją galią matuojame dioptrijomis. *Dioptrija yra tokio lęšio laužiamoji galia, kurio didžiojo židinio nuotolis yra 1 metras.* Bet kurio lęšio didžiojo židinio nuotolį F išreiškę metrais, jo laužiamąją galią D išskaičiuojame iš šios formulos:

$$D = \frac{1}{F}.$$

Įvertinam išskaičiuotų rezultatų klaidas. Pirmajam atsitikime

$$\pm \Delta F = \pm F \left[\frac{\Delta R_1}{R_1} + \frac{\Delta R_2}{R_2} + \frac{\Delta R_1 + \Delta R_2}{R_1 + R_2} \right],$$

antrajam, kai $R_1 = R_2 = R$,

$$\pm \Delta F = \pm F \frac{\Delta R}{R};$$

R (taigi R_1 ir R_2) klaida:

$$\pm \Delta R = \pm \left[\frac{1}{6} \cdot \frac{l^2}{S} \left(\frac{2\Delta l}{l} + \frac{\Delta S}{S} \right) + \frac{1}{2} \Delta S \right].$$

Matuodami optikos suolu taip vertiname klaidą. Pastatę lęšį tokioje vietoje, kad aiškiausiai matytųsi ekrano raidės, stumiame jį iš pradžių į vieną, o vėliau į kitą pusę, tiek, kad aiškumas jau šiek tiek pradėtų nykti. Atskaitom abi lęšio vietas. Šių atskaitymų skirtumas, padalintas pusiau, ir yra matavimo klaida.

Išskaičiuotos laužiamosios galios D klaida

$$\pm \Delta D = \pm D \frac{\Delta F}{F}.$$

§ 41. Optikos prietaisų didinimas. Lęšių sferinė ir chromatinė aberacija

Tas pats daiktas arti atrodo didesnis, toliau — mažesnis. Pravestos nuo mūsų akies į du kraštinius daikto taškus tiesios linijos sudaro kampą, kuriuo matomas daiktas. Šį kampą vadiname *daikto matymo kampu.* Artinant daiktą matymo kampas didėja, tolinant — mažėja. Todėl daiktas mums atrodo tuo didesnis, kuo didesnis jo matymo kampas.

Mažiems arba tolimiems daiktams stebėti vartojame optikos prietaisus — mikroskopus, teleskopus. Šie padidina daikto matymo kampą. Jų didinimą nusakome trejopai:

a) *tikrasis didinimas* G yra santykis matymo kampo, kuriuo stebėtojas mato daikto vaizdą pro optikos prietaisą, su kampu, kuriuo stebėtojas matytų tą daiktą akim geriausio matymo nuotolyje (25 cm);

b) *geometrinis didinimas* W yra vaizdo linijinių matų ir paties daikto linijinių matų santykis;

c) *absoliutinį didinimą* arba *optinę jėgą P* nustato kampo dydis, kurį sudaro nuo vieneto ilgio galų einą spinduliai pro optikos prietaisą į stebėtojo akį.

1. Paprastas mikroskopas

Nedideliems daiktams stebėti vartojame dvigubai iškilus lęšius. Kai stebimasis daiktas AA_1 stovi tarp lęšio ir jo didžiojo židinio F, tai akis iš antrosios stiklo pusės mato tiesų, menamą ir padidintą vaizdą BB_1, kuris turi būti nuo akies geriausiojo matymo nuotolyje (25 cm) (fig. 85).

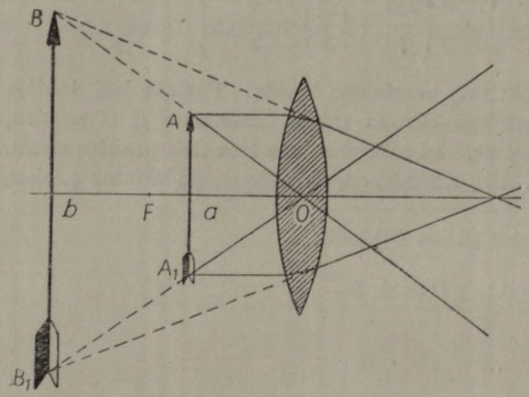

Fig. 85.

Geometrinis lęšio didinimas sutampa su tikruoju didinimu ir pats didžiausias yra tuomet, kuomet akis laikoma prie pat stiklo, jis lygus:

$$W = \frac{s}{\varphi} + 1,$$

čia s — geriausio matymo nuotolis (25 cm), φ — lęšio židinio atstumas.

Lęšio didinimui nustatyti galima panaudoti šią formulą, arba eiti šiuo keliu: ant lęšio 45° kampu pastatome nedidelę stiklinę plokštelę g, po kuria padedame skalą — plokštelę su labai smulkiais padalinimais, o maždaug 25 cm nuo plokštelės nuotolyje — liniuotę M su milimetriniais padalinimais (fig. 86). Šitą liniuotę stumdome tolei, kolei pro lęšį žiūrinti akis pro

plokštelę g pamato tuo pačiu metu ir vienaip ryškiai po lęšio esamus padalinimus ir liniuotės M padalinimus. Tuomet belieka suskaityti, kiek liniuotės M padalinimų sutampa su n skalos padalinimais. Kai liniuotės M sutampa m padalinimų ir kai vienos skalos padalinimas lygus $\frac{1}{k}$ mm, tai didinimas

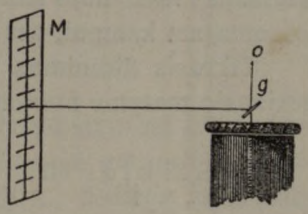

Fig. 86.

$$W = m : \left(n \frac{1}{k}\right) = \frac{mk}{n}.$$

2. Sudėtinis mikroskopas

a) Didinimo nustatymas.

Geometrinį mikroskopo didinimą nustatydami, padedame ant jo staliuko dvi liniuotes: vieną stebime pro mikroskopą, antrą tuo pačiu metu stebime plika akim. Tegu pro mikroskopą matomų m padalinimų atitinka plikos akies matomiems n padalinimams, tuomet ieškomasis didinimas

$$W = \frac{n}{m}.$$

Galime tą didinimą surasti ir kitaip: ant mikroskopo akuliaro padedame 45° kampu nedidelę plokštelę, o 25 cm atstume nuo jos — liniuotę. Ant mikroskopo stalelio padedame skalą — stiklinę plokštelę su labai smulkiais padalinimais. Žiūrime pro mikroskopą, stumdome skalą ir keičiame plokštelės su padalinimais apšvietimą, kolei liniuotės ir plokštelės padalinimai bus lygiagretūs ir vienodai aiškiai matomi. Tegu m liniuotės padalinimų sutampa su n po mikroskopu esamos plokštelės padalinimų; jei šios plokštelės padalinimai lygūs $\frac{1}{k}$ mm, tai ieškomasis didinimas yra:

$$W = \frac{mk}{n},$$

Absoliutinį didinimą, arba kampą, kuriuo akis mato daikto paviršiaus vieneto vaizdą, gauname, ilgio vieneto vaizdo dydį

padalinę iš 25 cm (geriausiojo matymo nuotolio). Šiuo keliu gaunamas ieškomojo kampo tangentas, kurį galima laikyti lygiu ieškomajam kampui, nes šis labai mažas.

Tikrasis didinimas lygus absoliutiniam, padaugintam iš geriausio matymo nuotolio dydžio.

b) Stiklo lūžio rodiklio nustatymas mikroskopu.

Tegu taškas P yra lūžio rodiklio μ erdvėje (fig. 87). Bet kuris iš P einąs spindulys, išėjęs į orą, nutolsta nuo statmens CB, ir akiai atrodo, būk spinduliai išeina iš taško Q, esančio aukščiau už P.

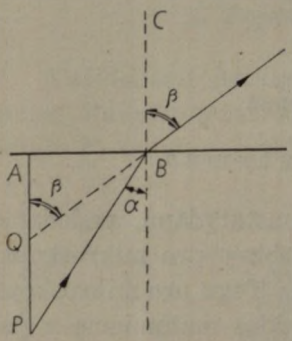

Fig. 87.

Iš fig. 87 seka:

$$AB = AQ \operatorname{tg} \beta; \quad AB = AP \operatorname{tg} \alpha,$$

iš čia $AQ \operatorname{tg} \beta = AP \operatorname{tg} \alpha$,

ir $$\frac{AP}{AQ} = \frac{\operatorname{tg} \beta}{\operatorname{tg} \alpha} = \frac{\sin \beta \,.\, \cos \alpha}{\cos \beta \,.\, \sin \alpha} =$$

$$= \mu \frac{\cos \alpha}{\cos \beta}.$$

Kadangi santykis $\frac{\cos \alpha}{\cos \beta}$ pareina nuo kampo α reikšmės, tai iš P išeiną ir prie AB įlūžę spinduliai nesudarys iš vieno taško išeinančių spindulių pluošto. Artimų prie CB spindulių santykį $\frac{\cos \alpha}{\cos \beta}$ reikia laikyti pastovų ir lygų vienetui; šia linkme žiūrinčiai akiai taškas P atrodys esąs taške Q ir

$$\frac{AP}{AQ} = \mu.$$

Norint šią formulą panaudoti stiklinės plokštelės lūžio rodykliui nustatyti, po mikroskopo objektyvu padedame nuspindintą su žyme (pvz., kryželiu) paviršiuje plokštelę. Nustatome mikroskopą į tą žymelę, ją laikome tašku P ir atskaitome skalą. Paskui padedame ant tos plokštelės tiriamąją stiklinę plokštelę ir mikroskopą nustatome taip, kad ta žymelė vėl aiškiai matytųsi — reiškia, mikroskopas būtų nustatytas į tašką Q, ir vėl

atskaitome skalą. Atskaitymų skirtumas a atitiks PQ ilgį. Kai tiriamosios plokštelės storis d, tai $AP = d$, $AQ = d - a$ ir

$$\mu = \frac{d}{d - a}.$$

Storį d matuojame mikrometru, sferometru bei mikrospopu. Pastaruoju atsitikimu žymelę padarome ant pačios tiriamosios plokštelės ir, jos storį matuojant, dedame ją žymele aukštyn, o, lūžio rodiklį matuojant, tuo šonu žemyn. Kai skalos atskaitymas, mikroskopą nustačius į padėklo žymę, yra a, o, nustačius į plokštelės žymę, atskaitymai yra b ir c, tuomet

$$\mu = \frac{a - b}{c - b}.$$

Lūžio rodiklio ieškant, galima ir nevartoti plokštelės, o mikroskopą taikyti į veidrodišką žemutinio plokštelės paviršiaus žymės vaizdą. Jei tuo atsitikimu skalos atskaitymas yra d, tai

$$\mu = \frac{2a - b}{c - b}.$$

c) Skysčio lūžio rodiklio radimas mikroskopu

Tik ką kalbėtas kelias tinka ir skysčių lūžio rodikliui nustatyti. Šiam reikalui dugne indo, į kurį mano pilti tiriamąjį skystį, padarome žymę. Į tą žymę nustatome mikroskopą ir atskaitome skalą; gauname a. Įpilame į indą tiriamąjį skystį, kiek apibarstome jo paviršių likopodijo dulkelėmis, pirmiau taikome mikroskopą į dugno žymę, o vėliau į skysčio paviršiuje plaukiojančias dulkeles ir skaloje atskaitome b ir c. Tuomet

$$\mu = \frac{a - b}{b - c}.$$

Galime ir neieškoti skysčio gylio, arba netaikyti mikroskopo į žymę tuščiame inde. Šiuo atsitikimu nustatome mikroskopą tik į žymę pro skystį ir į skysčio paviršių.

Paskui, kiek įpylę skysčio, kartojame tuos pačius matavimus. Tegu pirmu atveju atskaitome a, antru — b. Jei d_1 skysčio gylis pirmu atsitikimu, $d_1 + d_2$ — antru atsitikimu, tai

$$\mu = \frac{d_1}{a}, \quad \text{iš čia} \quad a = \frac{d_1}{\mu} \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1).$$

$$\text{ir} \quad \mu = \frac{d_1 + d_2}{b}, \quad \text{iš čia} \quad b = \frac{d_1 + d_2}{\mu} \ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

Atėmę (2) ir (1), gauname

$$\mu = \frac{d_2}{b - a},$$

čia d_2 yra skirtumas tarp dviejų atskaitymų, kada buvo taikyta į skysčio paviršių pirmu ir antru atsitikimais.

3. Teleskopo didinimo nustatymas

Teleskopą statome kelių metrų nuotolyje prieš metrinę, padalintą į mm, liniuotę, ant kurios pažymime du brūkšnius, kad juos galima būtų matyti ir akimi. Viena akim žiūrime pro teleskopą, antra — pro šalį taip, kad vaizdai drauge matytųsi ir sutaptų. Jei tiesiai žiūrint tarp dviejų brūkšnių matome n liniuotės padalinimų ir jiems atitinka pro teleskopą matomieji m padalinimai, tai geometrinis teleskopo didinimas

$$W = \frac{m}{n}.$$

Teleskopo didinimą nedideliame nuotolyje surandame taip. Nustatome teleskopą į tolimą daiktą ir prieš jo objektyvą pritvirtiname mažai iškilą lęšį, pvz., akinių stiklą, kurio didžiojo židinio nuotolis yra apie 2 m. Taip paruoštą teleskopą statome prieš metrinę liniuotę taip, kad matytųsi aiškiai jos brūkšniai, ir žiūrime abiem akim. Kai akies matomiems n padalinimams atitinka pro teleskopą matomi m padalinimai ir liniuotės nuotolis nuo objektyvo yra a, o nuo akies — A, tai

$$W = \frac{n}{m} \cdot \frac{a}{A}.$$

Astronominio teleskopo didinimą galime ir išskaičiuoti, išmatavę jo objektyvo ir okuliaro didžiojo židinio nuotolius F_1 ir F_2. Tuomet

$$W = \frac{F_2}{F_1}.$$

4. Lęšių sferinė ir chromatinė aberacija

Paprastų lęšių duodami vaizdai turi spalvotus ratus. Tai pareina nuo to, kad ne visi matomos šviesos spinduliai, pereidami lęšį, vienodai lūžta. Stipriausiai lūžta violetiniai spinduliai, o silpniausiai raudoni. Ryškiai tatai galime pastebėti, leisdami spindulių pluoštą pro abipus iškilą lęšį ir pastumdami ekraną į *mn* ir *rs* (fig. 88). Pirmoje vietoje *mn* vaizdo pakraščiai atrodys gelsvai raudoni, o antroje *rs* jie bus melsvi. Nevienodas įvairių spalvų spindulių lūžis iškraipo daiktų vaizdą. Šį reiškinį vadiname *chromatine aberacija.*

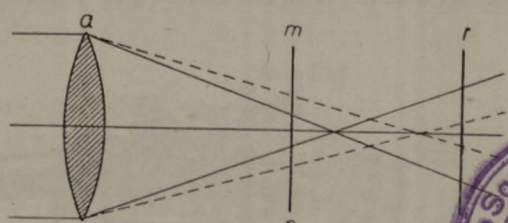

Fig. 88.

Lęšio chromatinę aberaciją galime taip nustatyti. Leisdami pro lęšį raudonų spindulių pluoštą, nustatome jo didžiojo židinio nuotolį (§ 40, 2). Vėliau imame mėlynus spindulius ir antrukart nustatome didžiojo židinio nuotolį. Raudoniems spinduliams surastas lęšio didžiojo židinio nuotolis yra didesnis, kaip mėlyniems. Neturint šių spalvų šviesos šaltinių, vartojame paprastą šviesą, uždengdami lempą plonu raudonu ar violetiniu popieriu.

Kauno Miesto Savivaldybės Vinco Kudirkos SKAITYKLA

* *
*

Lęšio kraštinės dalys turi mažesnį didžiojo židinio nuotolį, kaip centrinės. Todėl, krintant spinduliams kiek toliau nuo lęšio pamatinės optikos ašies, gaunamas vaizdas yra iškraipytas ir išlenktas. Tokį vaizdo iškraipymą vadiname *sferine aberacija.* Sferinės ir chromatinės aberacijos išvengti, optikos prietaisuose vartojame *diafragmą* (uždangą). Diafragma sulaiko spindulius, nutolusius nuo pamatinės optikos ašies, ir praleidžia tik tuos, kurie eina arčiau jos ir todėl turi žymiai mažesnę sferinę ir chromatinę aberaciją.

Mikroskopo sferinę aberaciją patikriname taip. Padedam po mikroskopu lygiais keturkampiais langučiais išbraižytą stiklo gardelę, arba tokio augalo ar gyvulio preparatą, kuris turi tai-

syklingą smulkią ir žinomą struktūrą. Jei prietaisas turi žymią sferinę aberaciją, keturkampiai langučiai atrodys išlenktais, o preparato struktūra iškraipyta. Kuo didesnis iškraipymas, tuo mažesnė prietaiso ryškinamoji galia.

§ 42. Spektrai; spektrinė analizė

Natūralus, bespalvis šviesos spindulys, eidamas pro prizmą, ne tik lūžta, bet ir išsiskaido į savo pamatines sudedamąsias da-

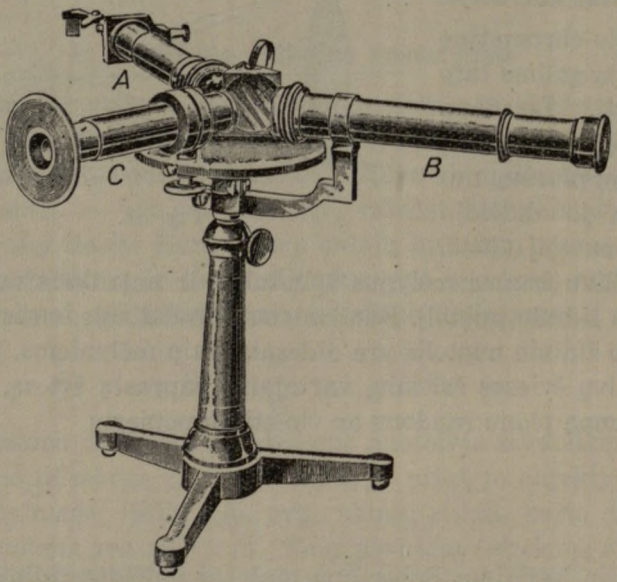

Fig. 89.

lis — spalvotus spindulius — duodamas spalvų spektrą. Tai įvyksta todėl, kad įvairių spalvų, taigi, įvairių bangų ilgių spinduliai įvairiai lūžta, reiškia, nevienodai greit sklinda prizmoje. Yra šios spektrų rūšys. Įkaitinti kieti kūnai duoda vadinamus *vientisinius* spektrus. Aukštos temperatūros cheminių elementų garai ir dujos, sudėti iš atomų, spinduliuoja sudėtus iš atskirų linijų vadinamus *linijinius* spektrus. Jie taipgi gaunami, kai leidžiama elektros srovė pro praretintas dujas. Cheminių elementų ir junginių molekulos spinduliuoja sudėtus iš atskirų

juostų vadinamus *juostų* spektrus. Juostos sudėtos iš ištisos eilės linijų.

Kai vientisinio bei kurio kito spektro šviesa eina pro materiją, tai kai kurios spektro dalys išnyksta ir gaunasi tamsios juostos vieton šviesių. Toks spektras vadinasi *absorbcijos* spektras. Saulės spinduliuojama šviesa, perėjusi saulės viršutinius sluoksnius ir žemės oro atmosferą, iš dalies absorbuojama; jos spektre atsiranda tamsios absorbcijos linijos.

Bet kuris cheminis elementas arba junginys turi savo iš atskirų įvairių spalvų linijų arba juostų sudėtą spektrą. Šviesos spalva pareina nuo šviesos bangos ilgio. Taigi, bet kurio elemento spektras susideda iš tam tikro bangų ilgio linijų. Šviesos bangų ilgius matuojame mikronais (μ; $1\,\mu = 10^{-3}$ mm = $= 10^{-4}$ cm), milimikronais ($m\mu$; $1\,m\mu = 10^{-6}$ mm $= 10^{-7}$ cm), angstremais (A ; $1\,A = 10^{-7}$ mm $= 10^{-8}$ cm) arba iks - vienetais (x; $1\,x = 10^{-11}$ cm).

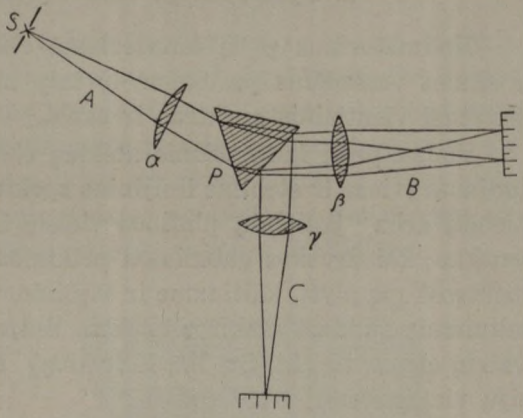

Fig. 90.

Spektrus gauname ir bangų ilgius matuojame aparatais, vadinamais spektroskopais ir spektrografais. Spektroskopą sudaro stiklo arba kitokios medžiagos prizma; pro ją eidamas paprastas, natūralus šviesos spindulys susiskaido į sudedamuosius spalvotus spindulius, nes pastarieji ne visi vienodai lūžta: raudonieji spinduliai lūžta mažiau, mėlynieji daugiau. Fig. 89 vaizduoja spektroskopą, o 90 — spindulių eigą.

Šviesos spindulių pluoštas, įėjęs pro kolimatoriaus *A* plyšį *S*, pereina pro jo lęšį α ir krinta į prizmą. Kadangi plyšys *S* yra lęšio α didžiajame židinyje, tai iš lęšio išeina lygiagrečių spindulių pluoštas. Eidamas pro prizmą *P* jis lūžta ir susiskaido į sudedamąsias dalis, kurios praeina žiūrono objektyvą β ir, jo didžiajame židinyje susirinkusios, duoda ištisą eilę spalvotų

plyšio vaizdų — šviesos spektrą. Pastarą stebime žiūronu *B*. Skalos vamzdžio *C* glaudžiamojo lęšio γ didžiajame židinyje patalpinta permatoma skala. Nušvietus ją, spinduliai eina pro lęšį γ, lygiagrečiu pluoštu krinta į prizmos šoną ir, atsispindę nuo jo, patenka į žiūroną *B*. Tuo būdu žiūrone matosi spektras ir skalos padalinimai vienoje plokštumoje. Linijinio spektro atskiros linijos randasi ties skalos padalinimais.

1. Spektroskopo skalos įvertinimas

Kolimatoriaus plyšį nušviečiame elektros lempa; žiūrono ir skalos vamzdžius pasukame ir taip nustatome, kad aiškiai matytųsi vientisinis spektras ir skala.

Vėliau plyšį nušviečiame atskirų elementų atomų spinduliuojama šviesa ir stebime linijinius spektrus. Paimame anglies stiebelį arba įkaitintą platinos vielelę ir įkišame į elementų druskas; kai druskos gabaliukai prikimba, įtvirtiname jį prieš spektroskopo plyšį, kaitiname ir stebime, ties kuriais skalos padalinimais randasi atskiros spektro linijos. Taip nušviečiame įvairių elementų (Li, Sr, Ba, K ir kitų) šviesa ir pažymime linijų vietas skaloje.

Atskirų elementų linijiniams spektrams gauti, dažnai vartojama Geissler'io vamzdeliai. Tai yra be oro, bet kurio elemento garais pripildytas, stiklinis vamzdelis. Jo galuose įlydyti du metaliniai elektrodai. Sudarius didesnį potencialų skirtumą, pvz., elektrodus sujungus su induktoriaus antrinės špūlės galais, pro vamzdelį bėga elektros srovė, kurią lydi švitėjimas. Vamzdelį pastatome prieš kolimatoriaus plyšį ir nušviečiame.

Išbrėžiame bangų ilgių kreivę. Vienoje stačiakampių koordinatų sistemos ašyje sužymime skalos padalinimus, antroje stebėtų linijų bangų ilgius ir tarp gautų taškų taip išvedame kreivę, kad lygus taškų skaičius rastųsi abiejose kreivės pusėse. Spektro linijų bangų ilgius randame lentelėje 16.

2. Spektrinė analizė

Turint bangų ilgių kreivę, galima rasti, iš kokių medžiagų sudėtas bet kuris mišinys. Kiekvienas elementas, kad ir labai mažai jo tebūtų mišinyje, duoda savo linijinį spektrą. Stebime mišinio spektrą ir pažymime, ties kuriais spektroskopo skalos

padalinimais randasi spektro linijos. Kai kurios jų yra tose pačiose vietose, kur buvo linijos ir stebint atskirų elementų linijas, tai jos priklauso atitinkamų elementų spektrams. Gavus linijas naujose vietose, bangų ilgių kreivė parodo bangų ilgius, o lentelėje randame atitinkamą elementą.

Įvertiname išmatuotų bangų ilgių klaidą.

§ 43. Šviesos poliarizacija. Poliarimetras

Naturalaus šviesos spindulio vibracijos vyksta visomis, spindulio sklidimo krypčiai statmenomis, kryptimis. Bet kuriuo laiku jos vyksta tik viena kryptimi, bet ši kryptis keičiasi daug kartų per sekundę. Galima gauti ir toks šviesos spindulys, kurio vibracijos vyksta visą laiką tik viena kryptimi. Tokį spindulį vadiname *poliarizuotu šviesos spinduliu*, o statmenąją vibracijų krypčiai plokštumą — *poliarizacijos plokštuma.*

Vienas dažniausiai vartojamų prietaisų šviesai poliarizuoti yra Nicol'io prizma. Kai kurie kristalai, kaip lauko špatas, kvarcas, laužia šviesą dvigubai: įspindęs natūralus šviesos spindulys skaidosi į du, statmenai vienas antram, poliarizuotu.

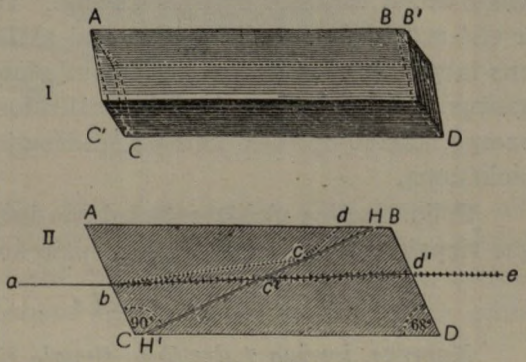

Fig. 91.

Tačiau kristale turime ir tokią kryptį, kuria eidamas spindulys nesiskaido; šią kryptį vadiname kristalo *optine ašim;* ji dažnai sutampa su viena iš kristalografinių ašių. Išvestą per optinę ašį piūvį vadiname *pamatiniu piūviu.* Lauko špato kristaluose (jis kristalizuojasi romboedrais) optinė ašis yra lygiagretė linijai, jungiančiai romboedro kampus, kuriuose susiduria bukų kampų plokštumos. Nicol'io prizma yra išpiauta iš lauko špato kristalo keturkampė prizma *ABDC* (fig. 91, I); jos ilgio kraštinės yra statmenos optinei ašiai. Ji diagonaliu piūviu HH_1 perpiaunama pusiau ir vėl sulipdoma Kanados balzamu (fig. 91,

II). Į tokią prizmą įėjęs šviesos spindulys *ab* skaidosi į du, poliarizuotus statmenose plokštumose, nevienodai lūžtančius spindulius: į daugiau lūžtantį paprastąjį (ordinarinį) *bc* ir mažiau lūžtantį nepaprastąjį (ekstraordinarinį) bd^1. Kanados balzamo lūžio rodiklis mažesnis už lauko špato; todėl, tinkamai parinkus kritimo kampą, spindulys *bc* visiškai atsispįs ir nueis į šalį; pro prizmą teišeis tik vienas linijiniai poliarizuotas spindulys bd^1. Tokios dvi Nicol'io prizmos padedamos viena paskui kitą ir pro abi leidžiama šviesos spindulys. Kai abiejų prizmų poliarizacijos plokštumos lygiagretės, šviesa praeina pro jas, bet kai jos yra statmenos viena antrai, taigi, Nicol'io prizmos arba, trumpai jas vadinant, nikoliai yra sukryžiuoti, šviesa nepraeina: perėjęs pro pirmąjį nikolį — poliarizatorių šviesos spindulys, būdamas poliarizuotas kitoje plokštumoje, pro antrąjį — analizatorių nebepraeina; už nikolių gaunamas tamsus laukas.

Pereinant poliarizuotai šviesai kai kuriuos kūnus, jos poliarizacijos plokštuma kinta — ji pasisuka tam tikru kampu. Tokie kūnai vadinasi optiškai aktingi. Toks yra, pvz., kvarcas ir eilė organinių junginių. Optiškai aktingą medžiagą patalpinus tarp sukryžiuotų nikolių, tamsusis laukas nušvinta; kad vėl gautųsi tamsus laukas, reikia analizatorių pasukti tam tikru kampu, kuriuo optiškai aktinga medžiaga pasuko poliarizacijos plokštumą.

Poliarizacijos plokštumos sukimo kampas φ yra proporcingas tirpalo sluoksnio ilgiui l ir tirpalo koncentracijai z, taigi,

$$\varphi = klz \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

Kampas, kuriuo 1 dm ilgio tirpalo sluoksnis pasuka poliarizacijos plokštumą, kai 1 cm^3 ištirpinta 1 g medžiagos, vadinasi specifinis poliarizacijos plokštumos sukimas. Kai žinomas bet kurios medžiagos specifinis sukimas, tai, išmatavus sukimo kampą, galima rasti jos koncentraciją tirpale.

Poliarizacijos plokštumos sukimo kampą matuojame poliarimetru (fig. 92). Jį sudaro du nikoliai — poliarizatorius *P* ir analizatorius *A* (fig. 93). Pastarąjį galima sukti. Sukimo kampą atskaitome apskritinėje skaloje, kuri turi nonijų. Tuojau už poliarizatoriaus randasi mažesnis, užimąs tik pusę matomo lauko, nikolis P_1, kuris lauką dalina į dvi dalis. Lauko nušvietimą stebime pro žiūroną *F*. Nikolius *P* ir P_1 taip pasukame, kad

jų poliarizacijos plokštumos sudarytų tarp savęs nedidelį kampą. Kai poliarizatorius (arba prizma P_1) ir analizatorius sukryžiuoti, tai viena lauko pusė tamsi, antra šviesi. Paprastai ana-

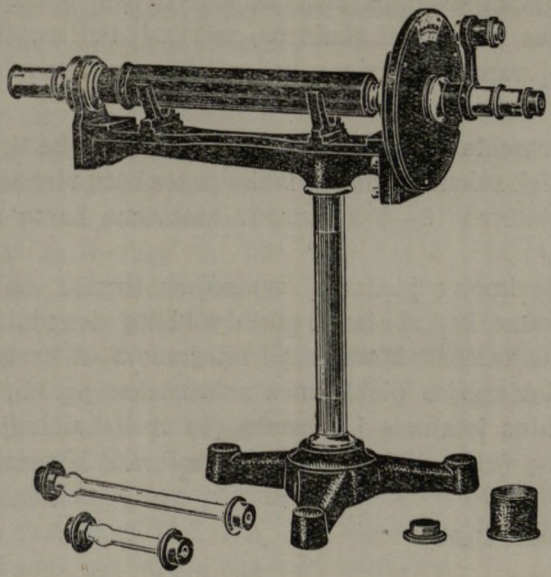

Fig. 92.

lizatorių taip pastatome, kad visas laukas būtų vienodai nunušviestas; tuomet poliarizacijos plokštumos sudarys nedidelį kampą. Lauką nušviečiame monochromatine šviesa, nes sukimo kampas pareina nuo bangos ilgio; dažniausiai vartojama geltona natrio šviesa.

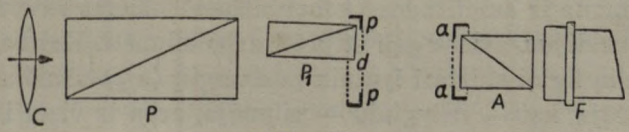

Fig. 93.

Tiriamą tirpalą įpilame į vamzdį, uždaromą galuose stiklo plokštelėmis, ir padedame jį tarp nikolių. Poliarizacijos plokštumai pasisukus, abi lauko pusės nebebus vienodai nušviestos; tuomet analizatorių sukame, kol nušvietimas susivienodina.

Taip matuojame. Iš pradžių paruošiame tirpalą. Atsveriame tam tikrą kiekį gerai susmulkinto cukraus ir ištirpiname

jį destiliuotam vandenyje. Kad gautume reikiamos koncentracijos tirpalą, imame tinkamus cukraus ir vandens kiekius, pvz., kai norime turėti 26% tirpalą, imame 13,0 g cukraus ir jį ištirpiname tokiam vandens kiekyje, kad tirpalo gautųsi 50 cm^3. Kai tirpalas nėra visai skaidrus, reikia jį išfiltruoti. Tirpalą supilame į vamzdį, žiūrime, kad neliktų oro burbulų, ir uždarome.

Dabar nustatome nulinę poliarimetro vietą be tirpalo. Analizatorių tiek sukame, kad abi lauko pusės būtų vienodai nušviestos. Nustatome 3—5 kartus, ir kiekvieną kartą atskaitome kampą.

Į poliarimetrą įdedame vamzdį su tirpalu. Analizatorių tiek pasukame, kad abi lauko pusės vėl būtų vienodai nušviestos. Atskaitome kampą. Matavimą kartojame 3—5 kartus. Surandame poliarizacijos plokštumos sukimo kampą.

Davinius įstatome į formulą (1) ir išskaičiuojame specifinį sukimą (arba, kai šis duotas — cukraus koncentraciją tirpale).

Įvertiname klaidą:

$$\pm \Delta k = \pm k \left(\frac{\Delta \varphi}{\varphi} + \frac{\Delta z}{z} + \frac{\Delta l}{l} \right).$$

§ 44. Šviesos bangos ilgio nustatymas iš interferencijos. Newton'o žiedai

Perėjusios skirtingų ilgių kelius ir susitikusios dvi vienodo dažnumo ir amplitudos (koherentinės) bangos interferuoja; joms susidėjus, šviesa gali stiprėti arba silpnėti. Kai bangų nueitų kelių ilgiai skiriasi lyginiu pusbangių ($\lambda/_2$) skaičium, šviesa stiprėja, kai — nelyginiu — silpnėja, arba ir visai išnyksta.

Šviesos bangos ilgį tiesioginiai išmatuoti negalime, nes ji perdaug trumpa. Jį matuojame aplinkiniais keliais, stebėdami bangų interferenciją. Šviesos bangų interferencijai gauti vartojame įvairius prietaisus. Paprasčiausias iš jų tas, kuriuo gaunami Newton'o žiedai.

Jį sudaro labai mažai išlenktas, plokščiai išgaubtas, stiklo lęšis *ABC* (fig. 94). Jo kreivumo stipinas *R*. Lęšį padedame ant plokštelės *GH* (arba ant kito, taipgi plokščiai įgaubto, stik-

linio lęšio, kuris turi kiek skirtingą kreivumo stipiną). Kai lygiagrečių spindulių pluoštas krinta statmenai *AB*, tai dalis spindulių atsispindi nuo paviršiaus *ACB*, o dalis — nuo *GCH*. Jie iki stebėtojo akies nueina nelygius kelius. Atsispindę nuo paviršiaus *GCH*, spinduliai bus nuėję ilgesnį kelią, kaip spinduliai, atsispindę nuo paviršiaus *ACB*, ir jų kelių skirtumas lygus $2d$. Be to atsispindęs nuo stiklo išorinio paviršiaus šviesos spindulys keičia savo fazę π, kas reiškia tą pat, lyg kad spindulys būtų nuėjęs pusės bangos ($\lambda/2$) ilgio kelią. Kai lęšis yra labai mažai išlenktas, tai atsispindusio nuo *ACB* ir lūžusio bei atsispindusio nuo *GCH* šviesos spindulių kryptis beveik nepasikeičia. Todėl, atsispindusių nuo paviršių *GCH* ir *ACB*, spindulių kelių skirtumas yra lygus $2d + \lambda/2$. Kai šis kelių skirtumas yra lygus nelyginiam pusbangių skaičiui, taigi, kai

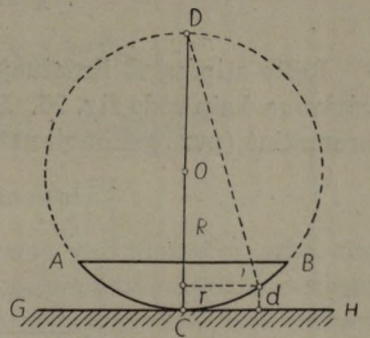

Fig. 94.

$$2d + \lambda/2 = (2z + 1)\lambda/2,$$

arba

$$2d = z\lambda,$$

kur z yra sveikas skaičius ($z=1, 2, 3,...$) — eilės skaičius, tai atsispindę spinduliai nuo *GCH* ir *ACB* turės priešingas judėjimo fazes ir, jiems susidėjus, šviesa susilpnės arba išnyks. Kai lęšį nušviečiame monochromatine, t. y. vieno ir to paties bangos ilgio šviesa, tai gauname šviesius ir tamsius koncentriškus žiedus su centru *C*. Juos vadiname Newton'o žiedais. Pačiam centre yra tamsus taškas; jame $d=0$, kadangi ten oro tarpo nėra, taigi ir $z=0$.

Iš fig. 94 matyti, kad

$$r^2 = (2R - d)d;$$

d yra mažas, palyginti su $2R$, todėl, nedaug teklysdami, pastarąją lygtį galime taip parašyti:

$$r^2 = 2Rd.$$

Iš čia $$d = \frac{r^2}{2R}.$$

Bet $2d = z\lambda$, tai šviesos bangos ilgis

$$\lambda = \frac{r^2}{zR} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

Lęšio stipiną R išmatuojame sferometru. Aparatūrą sutvarkome, kaip rodo fig. 95. Iš šviesos šaltinio B sklinda monochromatinė (pvz., geltonoji natrio) šviesa, kuri pereina per glau-

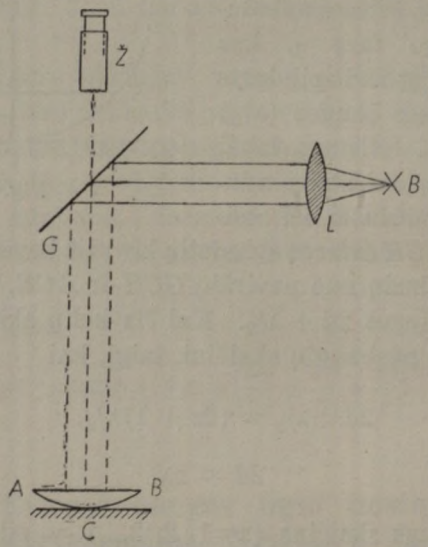

Fig. 95.

džiamąjį lęšį L ir lygiagrečiu spindulių pluoštu krinta į pusiau permatomą veidrodį G ir, atsispindusi nuo jo, nušviečia lęšį ABC. Lęšį taip padedame, kad tamsūs žiedai būtų apskritimų pavidalo arba bent labai panašūs į juos. Žiūrėdami iš viršaus pro veidrodį, išmatuojame tamsiųjų žiedų skersmenis. Paimame siūlą ir taip užmezgame du mazgus, kad jų nuotolis matuotų z-jo tamsaus žiedo skersmenį. Paskui milimetrine skala išmatuojame atstumą tarp mazgų. Taip matuojame 4-jo, 5-jo, 6-jo ir t. t. tamsių žiedų skersmenis ir randame jų stipinus. Įstatę davinius į formulą (1), išskaičiuojame bangų ilgius λ_4, λ_5, λ_6 ir t. t.

Imame surastų davinių aritmetišką vidurkį ir įvertiname jo klaidą.

ELEKTRODINAMIKA

§ 45. Matuojamieji prietaisai

1. Ampermetrai

Elektros srovės jėgą matuojame galvanometru arba ampermetru. Galvanometrus vartojame silpnoms elektros srovėms matuoti, stipresnes gi matuojame ampermetrais. Tam pačiam tikslui — elektros srovės jėgoms matuoti — skirti galvanometras ir ampermetras veikia tuo pačiu principu ir tesiskiria tarp savęs tik konstrukcijos smulkmenomis. Ampermetrus (ir galvanometrus) galime skirstyti į 3 grupes.

a) Nejudomam magnetiniam lauke sukasi solenoidas.

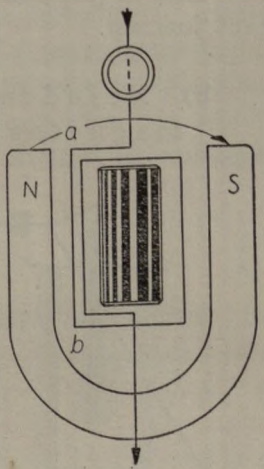

Fig. 96.

Galįs suktis solenoidas *ab* padėtas tarp nejudomai įtvirtinto magneto polių *NS* (fig. 96). Kai solenoidu bėga elektros srovė, apie jį sukuriamas magnetinis laukas; savo magnetinėmis ypatybėmis solenoidas tampa tolygus bet kuriam magnetui. Paprastai solenoido magnetinio lauko kryptis nesutampa su magneto lauko kryptimi, todėl solenoidas stengiasi pasisukti, kad abiejų magnetinių laukų kryptys sutaptų. Bet su solenoidu surištos spyruoklės arba vielelės, ant kurios jis pakabintas, elastingos jėgos teleidžia pasisukti solenoidui tiek, kad jis pakryptų jį veikiančių jėgų atstojamosios kryptim. Prie solenoido prijungtas rodiklėlis, kuris, solenoidui sukantis, slenka skala, kuri turi padalinimus.

Šie parodo elektros srovės jėgą amperais (A) bei jo dalimis (fig. 97).

Vieton solenoido galime ištempti tarp magneto polių *N S* vielelę; ji eina skersai magnetinio lauko (fig. 98). Kai ja bėga elektros srovė, veikiama magnetinio lauko, ji atsilenkia. Atsilenkimą stebime pro žiūroną *M*

Fig. 97.

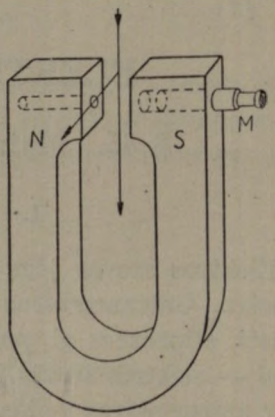

Fig. 98.

ir atskaitome tam tikroje skaloje. Prietaiso jautrumas pareina nuo vielelės įtempimo ir magnetinio lauko jėgos ir, šiems kintant, keičiasi.

b) Nejudomam solenoide slankioja magnetas arba minkštos geležies šerdelė.

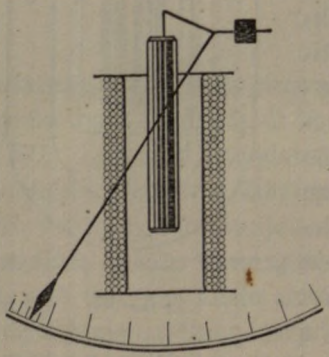

Fig. 99.

Į nejudomą solenoidą įeina pakabintas ant spyruoklėlės nedidelis magnetas. Bėgant solenoidu elektros srovei, magnetas traukiamas jo vidun. Su magnetu sujungtas rodiklėlis slenka skala, padalinta į amperus ir jo dalis, ir parodo bėgančios solenoidu elektros srovės jėgą. Dažnai vieton magneto būna pakabinta minkštos geležies šerdelė, kuri įmagnetėja tik elektros srovei bėgant solenoidu. Pastarieji prietaisai tinka matuoti ir nedidelių dažnumų kintamos elektros srovės jėgai (fig. 99).

c) Šiliminiai ampermetrai.

Kai elektros srovė bėga laidu, šis įšyla ir ilgėja. Gaunamas šilimos kiekis, tarp kitko, yra proporcingas antrajam srovės jėgos laipsniui. Ištempiame ploną vielelę tarp dviejų taškų AK ir įtvirtiname ją. Prie jos prijungiame rodiklėlį, kuris slankioja virš padalintos į amperus ir jo dalis skalos. Kai vielele bėga elektros srovė, ji šyla ir ilgėja, rodiklėlis paslenka ir parodo elektros srovės jėgą (fig. 100). Šios rūšies prietaisai dažniau vartojami kintamų elektros srovių jėgoms matuoti.

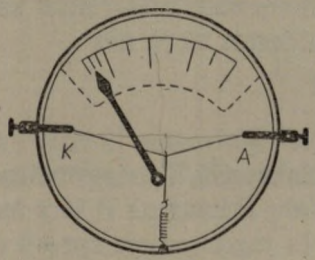

Fig. 100.

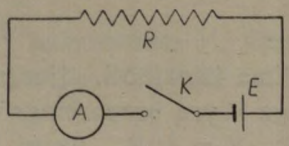

Fig. 101.

Į grandinę ampermetrus įjungiame nuosekliai (fig. 101). Čia grandinė sudaryta iš elektros srovės šaltinio E, ampermetro A, varžyno R ir jungtuko K. Kad, įjungus ampermetrą, mažai tepakitėtų elektros srovės jėga, jis privalo turėti nedidelę varžą. Pastovių srovių ampermetrus jungiant, reikia žiūrėti, kad tinkamai būtų jungiami + ir —. Atvirkščiai sujungus, galima sugadinti prietaisą.

2. Voltmetrai

Potencialų skirtumui matuoti vartojame voltmetrus. Bet kurios elektros grandinės dalies AB (fig. 102) galuose potencialų skirtumas V lygus grandinės elektros srovės jėgos I ir tos grandinės dalies varžos R sandaugai:

$$V = I R.$$

Į taškus A ir B, lygiagrečiai grandinei, įjungiame laidą, kurio var-

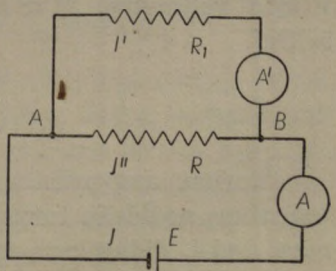

Fig. 102.

ža R_1 yra didelė, lyginant su varža R. Atstojamoji grandinės dalies AB varža, taigi ir taškų A ir B potencialų skirtumas, beveik nepakitės.

Sujungtų lygiagrečiai, turinčių varžas R ir R_1, laidų atstojamoji varža

$$R' = \frac{R R_1}{R + R_1} \simeq R,$$

nes, kai $R << R_1$, tai $R + R_1 \simeq R_1$.

Atbėgusi į tašką A, elektros srovė I išsišakoja; jos labai nedidelė dalis I' eina AR_1B keliu; antra dalis I'' — ARB keliu. Dalis I' bus tuo mažesnė, kuo R_1 didesnis už R, nes

$$\frac{I'}{I''} = \frac{R}{R_1}.$$

Ją galima išmatuoti, įjungus į atšaką AR_1B ampermetrą A'. Jos jėga I' yra proporcinga potencialų skirtumui V tarp taškų A ir B, $V = I' R_1$. Taigi, iš srovės jėgos galime spręsti apie potencialų skirtumą tarp A ir B. Įvertinę ampermetro skalos padalinimus voltais (V), gauname voltmetrą. Taigi, voltmetras veikia taip pat, kaip ampermetras, tik jo skalos padalinimai įvertinti voltais. Jo varža turi būti didelė (R_1 turi būti didelė); dažniausiai voltmetrai turi didelę priedinę varžą. Voltmetrą jungiame lygiagrečiai grandinei į tuos jos taškus, kurių potencialų skirtumą matuojame. Sekame, kad + ir — būtų tinkamai prijungti, atvirkščiai sujungus, galima sugadinti prietaisą. Fig. 103 rodo, kaip jungiamas voltmetras, kai norima išmatuoti potencialų skirtumą tarp grandinės taškų A ir B. V žymi voltmetrą, R ir R_1 — varžynus, E — elektros srovės šaltinį.

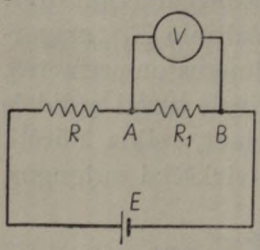

Fig. 103.

3. Šuntas

Turimu ampermetru arba voltmetru galime matuoti tik tam tikro nedidelio tarpo srovės jėgas arba potencialų skirtumus; todėl, didesniems tarpams matuoti reikėtų turėti keletą tinkamų prietaisų. Tačiau dažnai vieną ir tą patį prietaisą ga-

lima pritaikinti įvairioms srovių jėgoms (arba potencialų skirtumams) matuoti, atitinkamai mažinant arba didinant prietaiso jautrumą. Šiam tikslui prietaisai aprūpinami šuntais.

Šuntą sudaro lygiagrečiai prietaisui prijungtas tinkamos varžos laidas (fig. 104). Atbėgusi į tašką B, elektros srovė pasiskirsto: viena jos dalis bėga per ampermetrą A, kita gi dalis per šuntą BDC. Sujungtų lygiagrečiai šunto ir ampermetro, kurių varžos atitinkamai r_1 ir r_2, atstojamoji varža R yra:

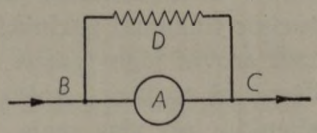

Fig. 104.

$$R = \frac{r_1 r_2}{r_1 + r_2}.$$

Taškų B ir C potencialų skirtumą pažymėsime V, bėgančių grandine, šuntu ir ampermetru elektros srovių jėgas — atitinkamai I, i_1 ir i_2; tuomet:

$$V = IR = i_1 r_1 = i_2 r_2 = I \cdot \frac{r_1 r_2}{r_1 + r_2}.$$

Taigi,
$$\frac{i_2}{I} = \frac{r_1}{r_1 + r_2},$$

iš čia
$$i_2 = I \cdot \frac{r_1}{r_1 + r_2}.$$

Kai ampermetro varža r_2 yra n kartų didesnė už šunto varžą r_1, t. y. $r_2 = nr_1$, tada

$$\frac{r_1}{r_1 + r_2} = \frac{r_1}{r_1(n+1)} = \frac{1}{n+1}.$$

Kai $n = 9$, 99, 999 ir t.t., tai $n+1=10$, 100, 1000 ir t.t.

ir
$$i_2 = {}^1/_{10}\, I;\ {}^1/_{100}\, I;\ {}^1/_{1000}\, I \text{ ir t. t.},$$

taigi, tuomet per ampermetrą bėgs tik ${}^1/_{10}$; ${}^1/_{100}$; ${}^1/_{1000}$ ir t.t. grandinės elektros srovės dalis. Prijungę šuntą, sumažiname bėgančios per matuojamąjį prietaisą elektros srovės jėgą. Išmatavę ją, galime visuomet išskaičiuoti visos grandinės srovės jėgą, kai žinomas paimtojo šunto ir matuojamo prietaiso varžų santykis. Paprastai šuntai yra prietaiso viduje; lauke tesiran-

da tik atskiri, įvairiems šuntams prijungti, gnybtai. Parenkant tinkamą gnybtų porį, turima jautresnis arba mažiau jautrus prietaisas ir, atitinkamai, kitokia prietaiso skalos padalinimo vertė. Tokiu kintamo jautrumo prietaisu matuodami, visuomet turime tinkamai parinkti prietaiso jautrumą. Matuojamos elektros srovės jėga (arba potencialų skirtumas) neturi būti didesnė už tą jėgą, kokią parodo prietaisas, kai jo rodiklis atsilenkia per visą skalą, kitaip *prietaisas genda.* Kai matuojamasis dydis (el. srovės jėga arba potencialų skirtumas) nėra apytiksliai žinomas, matuodami jungiame tuos prietaiso gnybtus, kur prietaisas yra mažiausiai jautrus ir tik pastebėję, kad jo jautrumas permažas, palaipsniui jautriname prietaisą tinkamai parinkdami gnybtus, kol pasieksime tinkamą jautrumą.

§ 46. Elektrinė varža ir laida

Laido elektrinė varža R yra tiesiog proporcinga jo ilgiui l ir atvirkščiai proporcinga jo skersinio piūvio plotui q. Taigi,

$$R = \rho \frac{l}{q}; \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

proporcingumo konstanta ρ pareina tik nuo laido medžiagos prigimties; ją vadiname laido *specifine varža.* Kai $l=1$, $q=1$, tai $R=\rho$, taigi, *specifinė varža savo skaitine verte yra lygi medžiagos 1 cm³ varžai.* Dažnai vieton 1 cm³ varžos imama 1 m ilgio ir 1 mm² skersinio piūvio ploto vielos varža ir sakoma, kad ji savo verte prilygsta medžiagos specifinei varžai ρ_1, kur

$$\rho_1 = 10^4 \rho.$$

Varžai atvirkščią dydį $\frac{1}{R}$ *vadiname medžiagos elektrine laida;* $1/\rho$ — medžiagos *specifinė laida* λ; taigi,

$$\lambda = \frac{1}{\rho} = \frac{l}{Rq} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

Ohm'o dėsnis sako, kad elektros srovės jėga

$$I = \frac{V}{R},$$

čia V — potencialų skirtumas, I — elektros srovės jėga; tai, $R=V/I$ įstatę į lygtį (2), gauname, kad

$$\lambda=\frac{I\,l}{V\,q} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3)$$

Kai per laiką T sek per grandinės skersinį piūvį perbėga elektros kiekis e, tai per 1 sek perbėga $\frac{e}{T}$; šis kiekis nusako elektros srovės jėgą I grandinėje; tokiu būdu,

$$I=\frac{e}{T};$$

tai įstatę į lygtį (3), gauname:

$$\lambda=\frac{e\,l}{T\,V\,q} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (4)$$

Kai $l=1$, $T=1$, $V=1$, $q=1$, tai $\lambda=e$.

Elektrinė laida savo skaitine verte lygi elektros kiekiui, perbėgančiam per 1 sek pro medžiagos 1 cm³, kai potencialų skirtumas 1 cm nuotoly lygus 1 V.

Elektrinės varžos vienetą vadiname omu (Ω). Omas yra tokia varža, kokią turi 0°C temperatūros gyvojo sidabro gyslelė, kurios ilgis 106,3 cm ir skersinio piūvio plotas — 1 mm².

Varžos dimensija [cm^{-1} sek]. Specifinės varžos dimensija [sek], ir specifinės laidos [sek^{-1}].

1. Wheatstone'o tiltas varžai matuoti

Varžą matuojame įvairiais būdais, dažniausiai Wheatstone'o tilteliu. Šis būdas remiasi Kirchhoff'o dėsniais. Jie sako, kad

1. *įbėgančių į mazgą ir išbėgančių iš jo algebrinė elektros srovių jėgų suma lygi nuliui,* taigi,

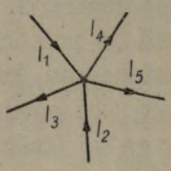

Fig. 105.

$$\Sigma I=0.$$

Įbėgančių į mazgą elektros srovių jėgas imame su ženklu (+), išbėgančių — su (—); tuomet (fig. 105)

$$I_1+I_2-I_3-I_4-I_5=0;$$

2. *kiekvienoje sujungtoje elektros srovės grandinėje elektros varomųjų jėgų V suma yra lygi algebrinei sumai sandaugų iš srovių jėgų I ir atitinkamų varžų R:*

$$\Sigma V=\Sigma IR.$$

Sujungtos elektros grandinės atskirų dalių srovės šaltinių elektros varomosios jėgos yra V_2, V_3, V_4 (fig. 106), elektros srovės jėgos I_1, I_2, I_3, I_4, I_5 ir varžos R_1, R_2, R_3, R_4 ir R_5. Srovių kryptys teigiamos, kai jos bėga laikrodžio rodiklio sukimosi kryptim, neigiamos — atvirkščiai. Tuomet

$$V_2+V_3+V_4=I_1R_1+I_2R_2+I_3R_3-I_4R_4-I_5R_5.$$

Kai nagrinėjamoje grandinėje elektros varomųjų jėgų nėra, tai

$$\Sigma IR=0.$$

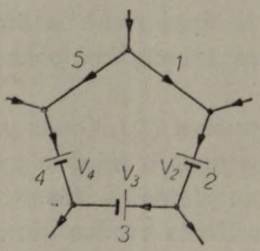

Fig. 106.

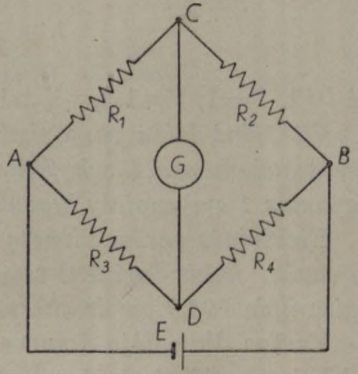

Fig. 107.

Iš keturių varžynų, kurių varžos R_1, R_2, R_3, R_4, sudarome sujungtą elektros grandinę (fig. 107). Prie taškų A ir B prijungiame elektros srovės šaltinį E, tarp taškų C ir D — galvanometrą G. Grandinės dalyje ACB parenkame tokį tašką C, kad jo potencialas būtų lygus grandinės dalies ADB taško D potencialui, kas visuomet galima, nes abi grandinės dalys turi tokį pat potencialų skirtumą ir tokius pat pradinį (taške A) ir galinį (taške B) potencialus. Tuomet elektros srovė tiltu CD nebėgs ir galvanometras neatsilenks. Taikindami uždaroms grandinėms $ACDA$ ir $BCDB$ 2-ą Kirchhoff'o dėsnį, gauname, kad

$$I_1R_1-I_3R_3=0$$

ir

$$I_2R_2-I_4R_4=0,$$

čia I_1, I_2, I_3 ir I_4 yra atitinkamai grandinės dalių AC, CB, AD ir DB elektros srovių jėgos;

arba $$I_1R_1=I_3R_3 \quad \text{ir} \quad I_2R_2=I_4R_4.$$

Bet kai el. srovė nebėga tilteliu CD, tai šakomis AD ir BD bėga tokios pat jėgos elektros srovė, taip pat ir šakomis AC ir CB; taigi, $I_1 = I_2$ ir $I_3 = I_4$. Padalinę abi lygtis panariui, gauname:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}.$$

Kai viena šių varžų, pvz., R_1, nežinoma, ją galime išskaičiuoti:

$$R_1 = R_2 \frac{R_3}{R_4} \ldots\ldots \quad (5)$$

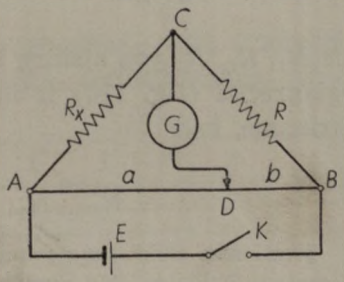

Fig. 108.

Du aukščiau minėtų varžynų (pvz., R_3 ir R_4) galima pakeisti ištiesta ant padalintos milimetrais metrinės liniuotės viela AB, kuria slankioja stumdomas kontaktas D (fig. 108). Visiškai vienodo stipino vielos varža yra proporcinga jos ilgiui; tuomet R_3/R_4 santykį galima pakeisti vielos dalių AD ir DB ilgių santykiu a/b, taigi,

$$R_1 = R_2 . \frac{a}{b} \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (6)$$

Varžą taip matuojame. Sujungiame elektros grandinę, kaip parodyta fig. 108. Čia AB ištiesta ant metrinės liniuotės viela, E — elektros srovės šaltinis (elementas arba akumuliatorius), G — galvanometras, K — jungtukas, D — stumdomas kontaktas, R — žinoma, R_x — matuojama varža.

Iš pradžių, paėmę bet kurią R, stumdome D ir surandame vietą, kad pro galvanometrą visai nebėgtų elektros srovė. Įstatę davinius į formulą (6), išskaičiuojame ieškomąją R_x *). Paskui paimame tokią R, kokią gauname išskaičiavę R_x. Kai negalime paimti dešimtųjų ir šimtųjų omo dalių, tai imame artimiausius išskaičiuotam didesnį ar mažesnį sveiką omų skaičių; jei, pvz.,

*) a/b santykį, esant įvairioms a ir b vertėms, paimam iš lentelės 20.

išskaičiuota $R_x = 11{,}63\ \Omega$, tai imame $R = 11\ \Omega$ ir $R = 12\ \Omega$ ir kiekvieną kartą vėl surandame nulinę vietą ir išskaičiuojame R_x. Taip išmatuojame 2—3 laidų nežinomas varžas. Tada juos jungiame nuosekliai (fig. 109) ir matuojame atstojamąją varžą. Įsitikiname, kad

$$R_x = R_1 + R_2 + R_3,$$

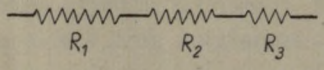

Fig. 109.

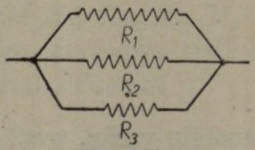

Fig. 110.

kur R_1, R_2, R_3 yra atskirų laidų varžos. Vėliau juos jungiame lygiagrečiai (fig. 110) ir matuojame atstojamąją varžą. Patikriname, kad

$$\frac{1}{R_x} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}.$$

Įvertiname atskirų matavimų ir išskaičiuotų rezultatų klaidas. Atskiro matavimo klaidą taip nustatome. Suradę nulinę vietą, kontaktą tiek pastumiam į vieną ir antrą pusę, kad galvanometras šiek tiek atsilenktų. Atskaitome kontakto vietas. Tų dviejų atskaitymų skirtumo pusė yra matavimo klaida. Išskaičiuoto rezultato klaida

$$\Delta R_x = \pm R_x \left(\frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta b}{b} \right).$$

2. Specifinė vielų varža

Bet kurios elektros grandinės dalies potencialų skirtumas V yra proporcingas jos varžai R. Ohm'o dėsnis sako, kad $I = V/R$, iš čia $V = IR$; I — elektros srovės jėga grandinėje.

Elektros grandinėn nuosekliai įjungta kelios vienodo ilgio l cm vielos. V yra potencialų skirtumas atskirų vielų galuose:

V_1 — potencialų skirtumas I vielos galuose,

V_2 — „ „ II „ „ ir t. t.

Vielų varžos, jų specifinės varžos, skersinių piūvių plotai ir stipinai atitinkamai yra:

$R_1, R_2 \ldots$, $\rho_1, \rho_2 \ldots$, $q_1, q_2 \ldots$, $r_1, r_2 \ldots$ ir t. t.

Kadangi visoje grandinėje elektros srovės jėga I pastovi, tai:

$$\frac{V_1}{V_2}=\frac{R_1}{R_2}=\frac{\rho_1 q_2}{\rho_2 q_1}; \quad \text{iš čia} \quad \frac{\rho_1}{\rho_2}=\frac{V_1}{q_2}:\frac{V_2}{q_1};$$

bet, bendrai, $q = \pi r^2$, taigi,

$$\frac{\rho_1}{\rho_2}=\frac{V_1}{r_2^2}:\frac{V_2}{r_1^2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

Panašius santykius gauname ir kitoms vieloms. Žinodami vienos vielos specifinę varžą (pvz., vario vielai $\rho_1 = 0{,}017$), kitom surandam.

Sujungiame fig. 111 nurodytą grandinę. Čia atžymėta: R — varžynas, A — ampermetras, V — milivoltmetras, E — elektros srovės šaltinis (elementas arba akumuliatorius), K — jungtukas, I—I, II—II, III—III — matuojamosios vielos; jų gali būti ir daugiau.

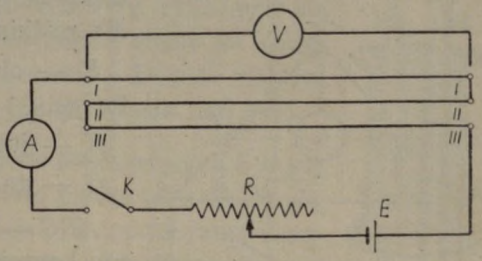

Fig. 111.

Per vielas leidžiame pastovios jėgos (0,5 — 1 A) elektros srovę, kurią įjungiame tik tada, kai matuojame. Milivolmetru išmatuojame potencialų skirtumus vielų galuose, atskirai kiekvienos ir grupėmis. Paskui mikrometru išmatuojame vielų stipinus.

Įstatę davinius į formulą (1), išskaičiuojame specifines vielų varžas.

Išbrėžiame potencialų kritimo vielose kreivę: vienoje ašyje sužymime vielų ilgius, antroje — potencialų skirtumus ir gautuosius taškus sujungiam tiesiomis linijomis.

Įvertiname klaidą:

$$\pm \Delta \rho_2 = \pm \rho_2 \left[\frac{\Delta V_1}{V_1}+\frac{\Delta V_2}{V_2}+\frac{2\Delta r_1}{r_1}+\frac{2\Delta r_2}{r_2}\right].$$

3. Temperatūrinis varžos koeficientas

Kintant laido temperatūrai, kinta ir jo elektrinė varža. Metalų, k. a. geležies, vario ir k., varža, temperatūrai kylant, didėja, o metaloidų, k. a. anglies, — mažėja. *Varžos pakitimo santykį su pradine varža, pakitus temperatūrai 1°, vadiname temperatūriniu varžos koeficientu.* Kai t_0^0 temperatūros laido varža yra R_0, o temperatūros t_1^0 — R_1, tai temperatūrinis varžos koeficientas

$$\alpha = \frac{R_1 - R_0}{R_0(t_1 - t_0)}.$$

Ieškant bet kurio laido varžos temperatūrinį koeficientą, tenka matuoti jo varžą prie įvairių temperatūrų. Varžą matuojame Wheatstone'o tilteliu. Sujungiame fig. 112 nurodytą elektros grandinę. Pažymėjimai čia reiškia:

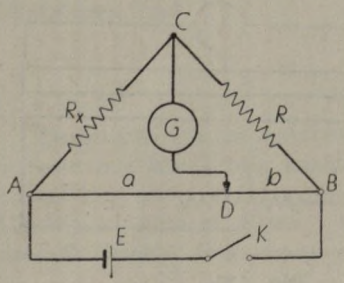

Fig. 112.

E — elementas arba akumuliatorius,

K — jungtukas,

G — galvanometras,

ABC — ištiesta viela su stumdomu kontaktu *D*,

R — varžynas, R_x — tiriamasis laidas.

Pastarasis įdėtas į indą, į kurį įpilame aliejaus, įstatome termometrą ir maišiklį.

Iš pradžių išmatuojame tiriamojo laido varžą prie kambario temperatūros t_0^0 (žrk. § 45,1).

Pamažu šildome indą. Temperatūrai kylant, kas 5° (pvz., prie temperatūrų 20°, 25°, 30° ir t. t.) matuojame laido varžą. Taip darom, kol laido temperatūra pakyla bent iki 50—60°.

Vėsindami taip pat panašiais temperatūrų tarpais tikriname laido varžą.

Įstatę gautuosius davinius į formulą, išskaičiuojame temperatūrinį varžos koeficientą α. Jį surandame ir grafiškai. Vienoje stačiakampių koordinatų ašyje sužymime varžas, antroje — temperatūras ir tarp gautų taškų išvedame tiesiąją.

Imame atitinkamų $R_1 - R_0$ ir $t_1 - t_0$ atkarpų ilgių santykį ir jį dalijame iš R_0.

Įvertiname išskaičiuoto rezultato klaidą:

$$\pm \Delta\alpha = \pm \left[\frac{\Delta R_1 + \Delta R_0}{R_1 - R_0} + \frac{\Delta R_0}{R_0} + \frac{\Delta t_1 + \Delta t_0}{t_1 - t_0} \right].$$

4. Elektrinė skysčių laida

Bet kurio skysčio elektrinė varža pareina nuo skysčio stulpelio ilgio ir jo skersinio piūvio ploto, taigi, pareina ir nuo vartojamo matuojamam skysčiui supilti indo elektrodų nuotolio. Galima vartoti įvairių pavidalų indelius. Bet kuris jų turi du platininius, platinos suodžiais padengtus, elektrodus (fig. 113); prie šių prijungtos išsikišančios iš indelio vielos su sraigteliais įjungti indeliui į grandinę. Dažnai elektrodus galime artinti arba tolinti vienas nuo kito.

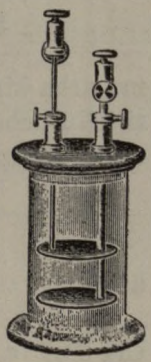

Fig. 113.

Kai nuotolis tarp indelio elektrodų yra l, skysčio stulpelio skersinio piūvio plotas tarp elektrodų, pareinąs nuo indelio pavidalo, q, matuojamo skysčio specifinė laida λ, tai skysčio stulpelio varža

$$R = \frac{1}{\lambda} \cdot \frac{l}{q};$$

l/q vadiname indelio talpa; ja pažymime C; tuomet

$$R = \frac{1}{\lambda} C.$$

Iš čia

$$\lambda = \frac{C}{R} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

Žinant vartojamo matuojamam skysčiui supilti indelio talpą, išmatavus skysčio varžą, galima išskaičiuoti jo laida λ.

Norėdami surasti indelio talpą, paprastai į jį įpilame žinomos laidos λ_0 skystį ir išmatuojame jo varžą R_0; iš formulos $C = \lambda_0 R_0$ išskaičiuojame C. Dažniausiai imame 30% sieros rūgšties, $^1/_{50}$ norminį KCl (1.492 g KCl 1 l) arba sotų NaCl tirpalą.

Elektrinę skysčio varžą matuojame Wheatstone'o tilteliu (fig. 114). Vieton nuolatinės elektros srovės vartojame kintamą, nes bėgant elektros srovei, skysčiai poliarizuojasi. Jai gauti vartojame nedidelį induktorių. Į pirminę, nedaug apvijų teturinčią, jo špūlę leidžiame elektros srovę iš akumuliatoriaus. Pertraukėjas ją įjungia ir išjungia. Antrinėje induktoriaus špūlėje indukuojama kintama elektros srovė; šios spūlės galus sujungiame su A ir B. Į Wheatstone'o tiltelio šakas įjungiam indą su matuojamu skysčiu ir varžyną R. Tarp C ir D įjungiame arba kintamos srovės galvanometrą G arba telefoną T. Kai tilteliu nebėga jokia elektros srovė, taigi, kai galvanometro rodiklis neatsilenkia arba telefone nesigirdi garsas, tuomet

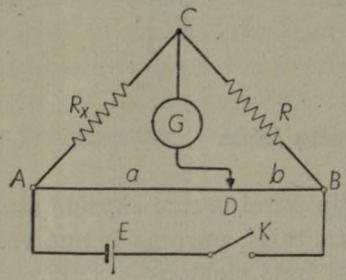

Fig. 114.

$$R_x : R = a : b$$

arba

$$R_x = \frac{a}{b} R.$$

Čia R_x, a, b yra atitinkamai matuojama varža ir vielos AB dalių AD ir BD ilgiai.

Taip matuojame. Iš pradžių pagaminame norminį skystį ir, įpylę jį indelin, išmatuojame jo varžą (§ 45, 1). Suradę lentelėje 18 jo laidą λ_0, išskaičiuojame indelio talpą C. Tuomet norminį skystį išpilam, indelį išplaunam vandeniu, elektrodus suvilgom spiritu ir, jei galima, nusausiname; praplovę indelį matuojamu skysčiu, pilam į jį skystį ir išmatuojam skysčio varžą R_x.

Įstatę davinius į formulą (1), išskaičiuojame matuojamojo skysčio laidą λ.

Įvertiname išskaičiuotų rezultatų klaidas:

$$\pm \Delta C = \pm C \cdot \frac{\Delta R_0}{R_0} \quad \text{ir} \quad \pm \Delta\lambda = \pm \lambda \left[\frac{\Delta C}{C} + \frac{\Delta R}{R} \right].$$

§ 47. Elektros srovės magnetinis laukas

Kai laidu bėga elektros srovė, tai apie jį susidaro magnetinis laukas. Jo jėgų linijų kryptį taip susekame. Popierio lakšte išbrėžiame stačiakampių koordinatų sistemą. Padėję busolę išbrėžtųjų linijų susikirtime, taip pasukame lakštą, kad viena tiesioji sutaptų su busolės rodiklėlio kryptim; tada pažymime į šiaurę rodančią liniją.

1). Sudarome grandinę iš akumuliatoriaus *E*, reostato *R*, komutatoriaus *K* ir 2,5 m ilgio vielos, kaip parodyta fig. 115. Su izoliuota juostele pritvirtiname tiesios vielos, apie 1,5 m ilgio gabalą prie liniuotės. Vielą laikome ant pat busolės ir kiek galima lygiagrečiai su busolės rodikliu. Grandinę taip sujungiame, kad elektros srovė bėgtų tiesiąja viela nuo pietų į šiaurę. Varžą nustatome tokią, kad rodiklis pakryptų 45°. Dešinę ranką laikome ant vielos, kad srovės kryptis sutaptų su ištiestų pirštų kryptimi, o delnas būtų atgręžtas į magneto rodiklį, ir viela būtų tarp rankos ir rodiklio. Atlenkiame nykštį ir tikriname *dešiniosios rankos taisyklę*. Ji sako: *kai dešiniąją ranką padedame ant laido, kuriuo bėga elektros srovė, taip, kad ištiesti pirštai rodo srovės kryptį, o delnas atkreiptas į laidą, tai ištiestas nykštys rodo rodiklio šiaurės polio atlenkimo kryptį.*

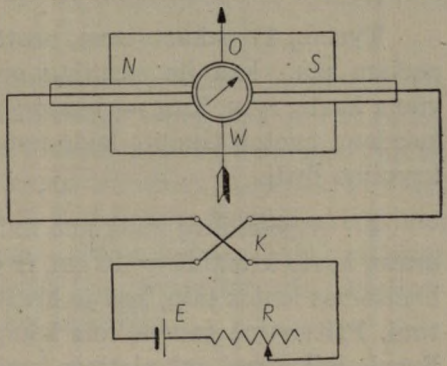

Fig. 115.

2). Elektros srovę leidžiame ta pačia kryptim, kaip 1). Tiesųjį laidą sukame virš busolės iš rytų į vakarus, kolei srovė įgauna iš šiaurės į pietus kryptį. Stebime rodiklio šiaurės polio pakrypimo linkmę ir dydį. Patikriname, ar visados tinka taisyklė.

3). Dedame liniuotę su laidu ant popierio laidu aukštyn, kryptim šiaurė-pietūs. Busolę laikome ant laido; jos vidurys randasi koordinatų ašių sankryžoje taip, kad jos šiaurės polis sutampa su šiaurės žyme popieryje. Tada taip sujungiam grandinę, kad elektros srovė bėgtų iš pietų į šiaurę. Tikriname tai-

syklę. Palikdami busolę vietoje, pamažėli sukam laidą aplink koordinatų ašių pradžią iš šiaurės į pietus. Visą laiką stebime pakrypimo linkmę ir dydį ir tikriname, ar visuomet tinka taisyklė.

Šių trijų tyrimų davinius surašome į lentelę:

Busolės rodiklio vieta laido atžvilgiu	Elektros srovės kryptis	Kur link pakrypsta šiaurės polis	Pakrypimo dydis
po viela	$S \rightarrow N$		

Tyrimą 1) pakartojame, pastūmę tiesųjį laidą lygiagrečiai pačiam sau, kad jis pasiliktų gulsčioj plokštumoj su busole, vieną kartą rytų, kitą — vakarų pusėj, greta busolės dėžutės; keisdami nuotolį tiesiojo laido nuo busolės, stebime rodiklio pakrypimo dydį.

4). Atpalaidavę laidą nuo liniuotės, sulankstome iš jo kvadratą, kurio kraštinė = 10 cm, ir gautąjį konturą padedam ant braižomos lentos taip, kad jo kraštinės eitų pasaulio šalių kryptimi. Pritvirtinę gembelėmis kampus, leidžiame elektros srovę. Busolę laikydami ant pietinės kraštinės vidurio, stebime rodiklio šiaurės polio pakrypimą. Tą pat darome, laikydami busolę po viela. Stebėjimus pakartojame ant kitų kvadrato kraštinių vidurių. Padarome brėžinį, panašų į 3) skyrelio, nusakydami, kaip veikia žemės magnetizmas. Patikrinam, ar tinka taisyklė.

5). Imame vielą su liniuote, kaip 1), ir jos atkarpą stačiai įtvirtiname. Glaudžiai pridedam busolę prie rytinės tos vielos pusės taip, kad rodiklio šiaurės polis sutaptų su šiaurės žyme popieryje. Visai neimdami varžos, sujungiam elektros srovę labai trumpam laikui. Patikriname, ar tinka dešiniosios rankos taisyklė. Tą pat padarome, pakeitę elektros srovės kryptį. Surašome rodiklio šiaurės polio pakrypimus, žymėdami: □— elektros srovę, einančią nuo brėžinio stebėtojo link, ⊡ — srovę, einančią nuo stebėtojo, ● — jėgos liniją, einančią aukštyn nuo brėžinio į stebėtoją, x — jėgos liniją, einančią nuo stebėtojo į priešingą pusę. Kartojame tyrimą, dėdami busolę į vakarus, šiaurę ir pietus nuo vielos greta jos. Sugretiname visus aštuonis atvejus, žymėdami nusakytais ženklais.

6). Į stovą įspraudžiame storojo popierio gabaliuką, ant jo padedam busolę. Išjungę varžą, taip sujungiam elektros srovę, kad ji eitų nuo pietų į šiaurę, ir surandam rodiklio pakrypimo dydį. Vieną vielos galą sulenkiam, kad ji eitų magnetinio meridiano kryptimi gulsčiai po storuoju popieriu. Stebime rodiklio pakrypimą, patikriname, ar tinka taisyklė, nustatome, kuria kryptim išeina iš srovės apeinamo konturo jėgų linijos. Tą pat padarome, perjungę elektros srovę konture. Vėliau, pastūmę busolę ant popierio pagal vielos kilpos ašį, stebime, ar kinta pakrypimo dydis. Pagaliau tyrimą kartojame, pasukę kilpą apie stačią ašį taip, kad jos apvijų plokštuma eitų rytų-vakarų kryptim.

7). Nuimame vielą nuo liniuotės, apsukame ją vieną kartą apie busolę ir taip paleidžiam elektros srovę, kad ji viršutiniojoj vielos dalyj eitų nuo pietų į šiaurę. Atskaitome pakrypimą. Tyrimą kartojame, padidinę kilpos skersmenį (diametrą); vėliau apvyniojam busolę viela 2, 3, 4 ir t. t. kartų ir kiekvieną kartą išmatuojame pakrypimą. Surandame, rodiklio šiaurės polio nukrypimo, elektros srovės, jėgų linijų kryptis. Patikrinam, ar tinka dešiniosios rankos taisyklė.

§ 48. Tangens - galvanometras

Elektromagnetinis elektros srovės jėgos vienetas yra tokios srovės jėga, kuri, bėgdama 1 cm ilgio viela, sulenkta 1 cm stipino apskritimo lanku, šio apskritimo centre sukuria 1 gauso jėgos magnetinį lauką. Pastarasis magnetizmo masės vienetą veikia 1 din jėga. Šį elektros srovės jėgos vienetą vadiname *veberiu.* 1 veberis = 10 A.

Elektros srovės bet kuriame erdvės taške sukurto magnetinio lauko jėga yra tiesiog proporcinga laido, kuriuo bėga elektros srovė, ilgiui l ir atvirkščiai proporcinga to taško nuotolio r antrajam laipsniui.

Kai trumpu, n apvijų solenoidu, kurio stipinas r, bėga I veberių jėgos elektros srovė, tai solenoido centre sukuriamas

$$F = I \frac{2\pi rn}{r^2} = I \frac{2\pi n}{r}$$

gausų jėgos magnetinis laukas; šis laukas veikia padėtą solenoido centre μ vienetų magnetizmo masę

$$F\mu = I\frac{2\pi n}{r}\mu$$

dinų jėga; jėgos kryptis yra statmena solenoido plokštumai, sutampančiai su elektros srovės plokštuma.

Didelio stipino r, trumpą n apvijų špulę padedame stačiai šiaurės-pietų plokštumoje ir jos centre pamauname ant iešmutės arba pakabiname trumpą magnetinį rodiklį taip, kad jis galėtų laisvai sukinėtis. Pastarasis, žemės magnetinio lauko gulsčiosios dedamosios veikiamas, visuomet pasisuka žemės magnetinio meridiano *NS* kryptim, taigi, špūlės apvijų plokštumon. Bet kai pro špūlę bėga elektros srovė, tai jos sukurtas magnetinis laukas magnetinį rodiklį, kuris randasi žemės magnetiniame meridiane, suka į plokštumą, statmeną srovės, taigi ir špūlės plokštumai. Šių dviejų jėgų, žemės magnetinio lauko jėgos gulsčiosios dedamosios H ir elektros srovės sukurto magnetinio lauko jėgos F, veikiamas, magnetinis rodiklis pasisuka jų atstojamosios kryptim. Fig. 116 vaizduoja grafiškai veikiančias magnetinį rodiklį AB jėgas. Kai rodiklio polių magnetizmo masė yra μ, tai H veikia rodiklį AB jėga $H\mu$, o F — jėga $F\mu$. Jei rodiklis AB pasisuka kampu α, tai

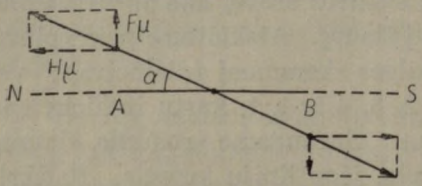

Fig. 116.

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{F\mu}{H\mu} = \frac{2\pi n}{rH} I.$$

Iš čia $$I_v = \frac{rH}{2\pi n}\operatorname{tg}\alpha$$ veberių

ir $$I_a = \frac{5rH}{\pi n}\operatorname{tg}\alpha$$ amperų.

$\frac{5r}{\pi n}$ koeficientas pareina tik nuo špūlės stipino r ir apvijų skaičiaus n. Jį vadiname aparato konstanta ir žymime C.

Tuomet

$$I = CH\text{tg}\alpha \quad \ldots . (1)$$

Tangens — galvanometrą sudaro kelių apvijų stačia špūlė arba kelios tokios atskiros špūlės. Jų centre, skritulio viduryje, laisvai sukinėjasi, pamautas ant smailios ešmutės, trumputis magnetinis rodiklėlis; su juo standžiai sujungtas ilgesnis rodiklėlis, kuris padeda atskaityti pasisukimo kampą skritulyje (fig. 117).

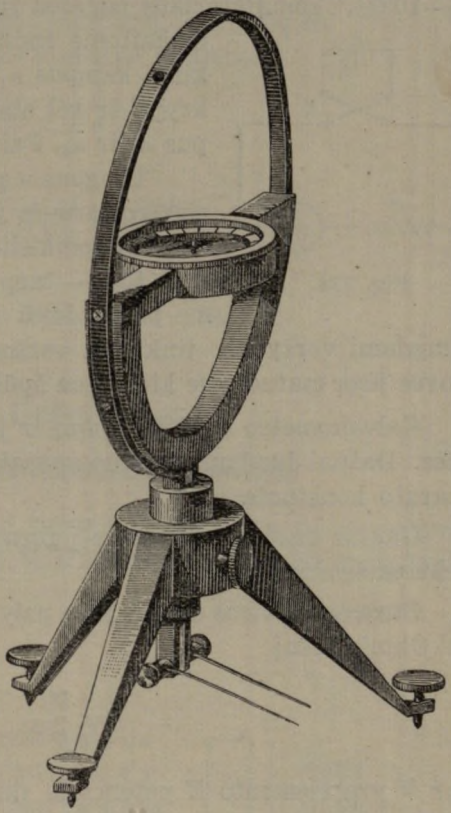

Fig. 117.

1. Elektros srovės jėgos matavimas

Elektros srovės jėgą taip matuojame. Iš pradžių tangens-galvanometro skritulį nustatome gulsčiai, sukinėdami papėdės kojų sraigtus. Patį galvanometrą taip pasukame, kad jo špūlių apvijų plokštuma būtų žemės magnetiniame meridiane. Paprastai galvanometro skritulio padalinimai taip yra sužymėti, kad rodiklėlio galams esant ties nuliniu padalinimu, galvanometro apvijų plokštuma sutampa su magnetinio meridiano plokštuma. Sujungiame fig. 118 duotą grandinę. Čia E žymi elektros sro-

vės šaltinį (elementą arba akumuliatorių), R — varžyną, K — komutatorių, G — galvanometrą. Į varžyną paimame varžą (2—10 Ω), komutatoriaus pagalba įjungiame elektros srovę ir atskaitome rodiklėlio abiejų galų atsilenkimo kampus α_1 ir α_2. Pakeičiame srovės kryptį ir vėl atskaitome atsilenkimo kampus α_3 ir α_4. Paimame jų aritmet. vidurkį.

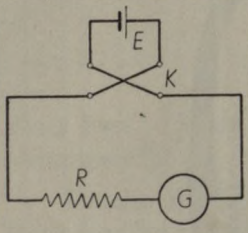

Fig. 118.

Tangens - galvanometru matuodami elektros srovės jėgą, visuomet taip darome, kad rodiklėlio atsilenkimo kampai būtų arti 45° — tarp 30° ir 60°. Tai pasiekiame parinkdami galvanometro špūlę arba įjungdami varžynan tinkamos varžos varžus. Tuomet elektros srovės jėgą matuojame kiekviena špūle.

Galvanometro apvijų stipiną ir jų skaičių paimame iš lentelės. Dažnai duodama tik nuo aparato konstrukcijos pareinanti aparato konstanta C.

Gautus davinius įstatome į formulą (1) ir išskaičiuojame elektros srovės jėgą I.

Surastą elektros srovės jėgą palyginame su išskaičiuota pagal Ohm'o dėsnį

$$I = \frac{V}{R},$$

kur V yra elemento E potencialų skirtumas, R — varžyno ir galvanometro špūlės varžos.

2. H nustatymas

Tangens - galvanometru galime nustatyti ir žemės magnetinio lauko jėgos gulsčiąją dedamąją H.

Iš formulos (1) gauname, kad

$$H = \frac{I}{C\operatorname{tg}\alpha} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

Kai elektros srovės jėgą I išreiškiame veberiais, tai H gauname gausais. Srovės jėgą matuojame tikslesniu ampermetru, kurį tada įjungiame į grandinę.

Atsilenkimo kampą α išmatuojame anksčiau aprašytu būdu.

Gautuosius davinius įstatę į formulą (2), išskaičiuojame žemės magnetinio lauko jėgos gulsčiąją dedamąją H.

Įvertinam rezultato klaidą. Pirmajam atsitikime:

$$\pm \Delta I = \pm I \frac{\Delta \mathrm{tg}\alpha}{\mathrm{tg}\alpha},$$

antrajam:

$$\pm \Delta H = \pm H \left(\frac{\Delta I}{I} + \frac{\Delta \mathrm{tg}\alpha}{\mathrm{tg}\alpha} \right).$$

$\pm \Delta \mathrm{tg}\alpha$ taip surandame:

$$\pm \Delta \mathrm{tg}\alpha = \pm [\mathrm{tg}(\alpha + \Delta\alpha) - \mathrm{tg}\alpha].$$

§ 49. Galvanometras

1. Statinė galvanometro konstanta

Ohm'o dėsnis sako, kad elektros srovės jėga I yra proporcinga potencialų skirtumui V ir atvirkščiai proporcinga laido varžai R, taigi,

$$I = \frac{V}{R}.$$

Elektros srovės jėgai matuoti vartojame ampermetrus ir galvanometrus. Pastaraisiais matuojame silpnas elektros sroves. Galvanometrai (pvz., D'Arsonval'io) taip sudaryti.

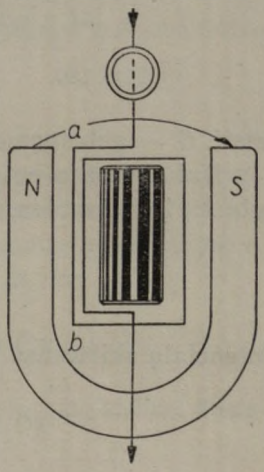

Fig. 119.

Ant plono metalinio siūlo pakabinta ir laisvai sukinėjasi daugelio apvijų špūlelė - solenoidas *ab* (fig. 119). Jos viduje, prie galvanometro stovo, nejudomai pritvirtinta geležinė šerdis. Solenoidą apžioja geležies magnetas *NS*. Prie pakabinimo siūlo pritaisytas veidrodėlis, kuris sukinėjasi kartu su solenoidu. Bėgant elektros srovei solenoidu, apie jį susidaro magnetinis laukas; šis, magneto *NS* magnetinio lauko veikiamas, nori taip pakrypti, kad jo jėgų linijos būtų lygiagrečios magneto magnetinio lauko jėgų

linijoms, ir solenoidas sukasi; tačiau pakabinimo vielos elastingumo jėgos priešinasi sukimui, ir solenoidas teįveikia pasisukti tik tam tikru kampu, kuris proporcingas bėgančios pro galvanometrą elektros srovės jėgai I. Vieton pasisukimo kampo galima imti padalinimų skaičių n, kuriuo skalos atvaizdas paslenka veidrodyje. Taigi,

$$I = Cn.$$

C — *statinė galvanometro konstanta,* kitaip ją vadiname *galvanometro jautrumu.* Ją paprastai išreiškiame mikroamperais (10^{-6} A); *ji parodo, kokios jėgos reikalinga elektros srovė, kuri galvanometro solenoidą tiek pasuktų, kad galvanometro skalos atvaizdas veidrodėlyje paslinktų vienu padalinimu,* kai nuotolis tarp galvanometro veidrodėlio ir skalos yra 1 m. Žinant C ir n, galima surasti bėgančios pro galvanometrą elektros srovės jėgą I.

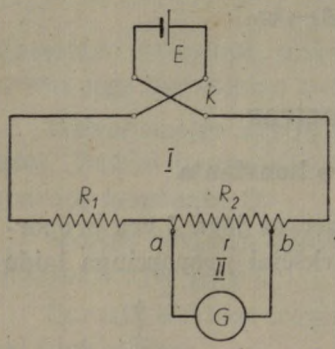

Fig. 120.

Statinę galvanometro konstantą taip surandame. Sujungiame fig. 120 nurodytą elektros grandinę. Čia E — elementas, K — komutatorius el. srovės krypčiai keisti, G — galvanometras, R_1 ir R_2 — varžynai.

Kai elemento potencialų skirtumas yra V_1, varžynuose paimta R_1 ir R_2 varžos, tai grandinės I elektros srovės jėga

$$I_1 = \frac{V_1}{R_1 + R_2},$$

Potencialų skirtumas V_{11} tarp taškų a ir b lygus:

$$V_{11} = I_1 \cdot r = \frac{V_1 r}{R_1 + R_2},$$

čia r — atšakos ab varža.

Tuomet elektros srovės jėga I_{11} galvanometro (II) grandinėje, kai paties galvanometro varža yra R, lygi:

$$I_{11} = \frac{V_{11}}{r + R} = I_1 \frac{r}{r + R} = \frac{V_1}{R_1 + R_2} \cdot \frac{r}{r + R} = Cn.$$

Iš čia statinė galvanometro konstanta

$$C = \frac{V_1}{R_1 + R_2} \cdot \frac{r}{r + R} \cdot \frac{1}{n} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

Darbą taip atliekame. Sujungiame el. grandinę, kaip nurodyta fig. 120. Varžyne R_1, ištraukę kištukus, paimam 10.000 Ω, R_2 — 1 Ω dešimtomis dalimis. Žiūroną ir skalą taip nustatome, kad žiūrone aiškiai matytųsi skalos padalinimų atspindžiai galvanometro veidrodėlyje.

Prijungiame el. srovės šaltinį E (elementą arba akumuliatorių). Atšakoje paimame 0,1 Ω. Pasukę komutatorių, įjungiame elektros srovę ir stebime galvanometro atsilenkimus į vieną ir antrą pusę.

Paimame atšakon 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1 Ω ir išmatuojame atsilenkimus. Voltmetru išmatuojame elektros srovės šaltinio potencialų skirtumą V_1.

Išskaičiuojame galvanometro statinę konstantą C, įstatę gautus davinius į formulą (1).

Suradę statinę galvanometro konstantą, galime išmatuoti bet kurios elektros srovės jėgą ir bet kurio elektros srovės šaltinio, pvz., elemento, potencialų skirtumą.

Elektros srovės jėgą matuodami, atskaitome galvanometro atsilenkimą n ir, įstatę šį į formulą

$$I = Cn,$$

išskaičiuojame I.

Potencialų skirtumą matuodami, vieton elemento E grandinėn įjungiame nežinomą E_x, kurio matuojamas potencialų skirtumas yra V_x, ir išmatuojame galvanometro atsilenkimą n. Kai atšakos varža r, I grandinės — $R_1 + R_2$, tai

$$V_x = \frac{r + R}{r} (R_1 + R_2)\, Cn.$$

Įvertiname atskirų matavimų ir išskaičiuotų rezultatų klaidas. Pastarosios lygios:

$$\pm \Delta C = \pm C \left[\frac{\Delta n}{n} + \frac{\Delta V_1}{V_1} \right],$$

$$\pm \Delta I = \pm I \left(\frac{\Delta C}{C} + \frac{\Delta n}{n} \right),$$

$$\pm \Delta V_x = \pm V_x \left[\frac{\Delta n}{n} + \frac{\Delta C}{C} \right].$$

2. Balistinis galvanometras; jo konstanta

Praleidus pro galvanometrą trumpą laiką besitęsiančią elektros srovę (pvz., išelektrinant pro jį kondensatorių), judamoji galvanometro sistema atsilenkia tam tikru kampu, paskui grįžta atgal, atsilenkia į antrą pusę ir t. t., t. y. periodiškai svyruoja. Svyravimų amplituda visą laiką mažėja, nes svyravimus slopina įvairūs mechaniniai (k. t. oro pasipriešinimas, trintis ir t. t.) ir elektriniai (indukuotos solenoide ir kitose galvanometro dalyse Foucault'o srovės) veiksniai. Kai galvanometro judamos sistemos svyravimo periodas yra žymiai didesnis už impulso laiką (pastarasis turi būti mažesnis už periodo ketvirtadalį), tai, praėjęs pro galvanometrą, elektros kiekis yra proporcingas pirmajam galvanometro atsilenkimui. Kad svyravimo periodas T būtų pakankamai didelis, reikia, kad judamos sistemos inercijos momentas būtų didelis. Šiam tikslui prie jos prikabinami svareliai. Tokį galvanometrą vadiname balistiniu.

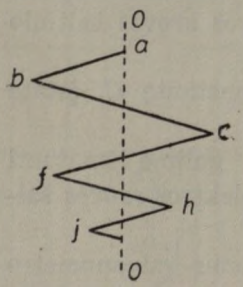

Fig. 121.

Praleidus pro balistinį galvanometrą elektros kiekį, galvanometras svyruoja periodiškai ir slopinamai. Tegu svyravimo periodas yra T. Tiesioji OO (fig. 121) vaizduoja nulinę galvanometro vietą, bc, cf, fh... galvanometro atsilenkimus, atitinkančius pusę periodo T, kurie vis mažėja ir artėja prie nulio.

Santykis

$$\frac{bc}{cf} = \frac{cf}{fh} = \frac{fh}{hj} = \ldots = k$$

vadinamas *slopinimo santykiu*. Natūralis slopinimo santykio logaritmas vadinamas *logaritminiu svyravimo dekrementu* λ:

$$\lambda = \ln k = 2{,}3026 \log_{10} k.$$

Slopinamo svyravimo periodas skiriasi nuo laisvojo svyravimo periodo T_0, kai svyravimai visiškai neslopinami. Šie abu periodai yra taip surišti:

$$T = T_0 \sqrt{1 + \frac{\lambda^2}{4\pi^2}} \text{ arba } T_0 = T \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{\lambda^2}{4\pi^2}}} =$$

$$= T \frac{2\pi}{\sqrt{4\pi^2 + \lambda^2}}.$$

Kai, pro balistinį galvanometrą prabėgus bet kuriam elektros kiekiui Q, galvanometras atsilenkia n padalinimų, tai šis elektros kiekis, laisvai svyruojant, lygus:

$$Q = C \frac{T_0}{2\pi} n ,$$

kur C statinė galvanometro konstanta, n pirmas galvanometro atsilenkimas. Slopinamai svyruojant

$$Q = C \frac{T_0}{2\pi} . k^{1/2\pi \cdot \operatorname{arctg} 2\pi/\lambda} . n ,$$

o vieton T_0 įstačius T:

$$Q = C \frac{T}{\sqrt{4\pi^2 + \lambda^2}} . k^{1/2\pi \cdot \operatorname{arctg} 2\pi/\lambda} . n .$$

Daugiklis

$$C \frac{T}{\sqrt{4\pi^2 + \lambda^2}} = B$$

vadinamas galvanometro *balistine konstanta*, taigi,

$$Q = B . k^{1/2\pi \cdot \operatorname{arctg} 2\pi/\lambda} . n .$$

Iš čia

$$B = \frac{Q}{k^{1/2\pi \cdot \operatorname{arctg} 2\pi/\lambda} n} .$$

Kai kondensatoriaus talpa yra C_1, jo plokštelių potencialų skirtumas V, tai jame telpąs elektros kiekis

$$Q = VC_1.$$

Tuomet

$$B = \frac{VC_1}{k^{1/2\pi \cdot \operatorname{arctg} 2\pi/\lambda} . n} .$$

Balistinę galvanometro konstantą tokiu būdu nustatome. Sujungiame fig. 122 nurodytą elektros grandinę. Čia E yra elektros srovės šaltinis (elementas arba akumuliatorius), C — bet kurios talpos kondensatorius, G — galvanometras, K — dvišakas jungtukas. Atstumas tarp galvanometro veidrodėlio ir skalos $\simeq$ 100 cm.

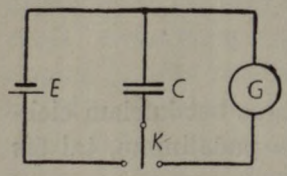

Fig. 122.

Paėmę kondensatoriuje bet kurią talpą, K pasukam kairėn ir įelektrinam kondensatoriaus plokšteles. Perjungę jungtuką dešinėn, kondensatorių išelektriname pro galvanometrą. Tuo tarpu sekame nulinio skalos padalinimo svyravimus; atskaitome 5—8 svyravimus ir iš jų surandame periodą T. Matavimus kartojame 2—4 kartus.

Galvanometro svyravimus stebėdami, pasižymime kairėn ir dešinėn svyravimų amplitūdas ir išskaičiuojame slopinimo konstantą k ir logaritminį svyravimo dekrementą λ.

Kai nėra žinoma, surandame galvanometro statinę konstantą C.

Išskaičiuojame balistinę galvanometro konstantą B.

Žinodami balistinę galvanometro konstantą, galime, pvz., išmatuoti bet kurio kondensatoriaus talpą. Kadangi telpąs kondensatoriuje elektros kiekis

$$Q = VC_x,$$

kur V — kondensatoriaus plokštelių potencialų skirtumas, C_x — ieškomoji talpa, tai

$$C_x = Q/V.$$

Elektros kiekis

$$Q = B \cdot k^{1/2\pi \cdot \operatorname{arctg} 2\pi/\lambda} \cdot n .$$

Taigi,

$$C_x = \frac{1}{V} B \cdot k^{1/2\pi \cdot \operatorname{arctg} 2\pi/\lambda} \cdot n .$$

Kondensatoriaus potencialų skirtumą V išmatuojame voltmetru. Atskaitome pirmąjį balistinio galvanometro atsilenkimą n ir, įstatę davinius į formulą, išskaičiuojame C_x. Norėdami gauti tikslesnį rezultatą, galvanometro atsilenkimą matuojame

kelis kartus. Kai statinė galvanometro konstanta C yra išreikšta amperais, T sekundėmis, V — voltais, tai C_x bus išreikšta faradais. (Talpos vienetus žrk. § 56).

Įvertiname atskirų matavimų ir išskaičiuotų rezultatų klaidas. B klaida

$$\pm \Delta B = \pm B \left(\frac{\Delta T}{T} + \frac{\lambda \Delta \lambda}{\sqrt{4\pi^2 + \lambda^2}} + \frac{\Delta C}{C} \right),$$

arba

$$\pm \Delta B = \pm B \left(\frac{\Delta V}{V} + \frac{\Delta C_1}{C_1} + \frac{\Delta n}{n} + a \frac{\Delta k}{k} \right),$$

kur $a = {}^1/_{2\pi} \cdot \operatorname{arctg} 2\pi/\lambda$.

§ 50. Voltametras

Elektros srovei einant pro elektrolitus, ant elektrodų išsiskiria tam tikras medžiagos kiekis.

Faraday'us nustatė šiuos dėsnius:

1. *Ant bet kurio elektrodo išskirtos medžiagos masė M visados griežtai proporcinga visam pro skystį praėjusiam elektros kiekiui Q:*

$$M = kQ,$$

čia k yra proporcingumo koeficientas.

Bet kuris cheminis elementas bei junginys turi savo pastovų k, vadinamą elektrocheminį ekvivalentą.

Kai $Q = 1$ kulonui (1 A per 1 sek), $M = k$; taigi, *bet kurios medžiagos elektrocheminis ekvivalentas yra ta jos masė, kuri išskiriama iš elektrolito, praėjus pro jį vienam kulonui elektros.*

Jei leidžiama I A srovė, tai per t sekundžių pro skystį praeina $Q = It$ kulonų. Taigi,

$$M = kIt,$$

t. y. *bet kurios išskirtos medžiagos kiekis tiesioginiai proporcingas srovės jėgai I ir laikui t.*

2. *Įvairių medžiagų elektrocheminiai ekvivalentai tiesioginiai proporcingi jų cheminiams ekvivalentams.*

Pvz., išskiriąs 1 g H elektros kiekis, išskiria O—8 g, Ag (iš $AgNO_3$) — 107,9 g, Cu (iš $CuSO_4$) — 31,8 g. Išskiriąs 1 gram-

ekvivalentą elektros kiekis $F = 96530$ kulonų (Faraday'aus skaičius).

Elektrocheminį ekvivalentą

$$k = \frac{M}{It} \frac{g}{kul},$$

nustatome voltametru; jį taip matuojame. Sujungiame fig. 123 nurodytą elektros grandinę; čia pažymėta:

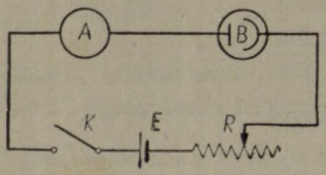

Fig. 123.

E — elementas,

A — ampermetras,

B — vario voltametras: jį sudaro du variniai elektrodai; jie įdėti į indą taip, kad vienas kito nesiektų; inde — $CuSO_4$ skiedinys,

K — jungtukas,

R — varžynas su šliaužiojamu kontaktu.

Nuplauname vario katodą destiliuotu vandeniu, išdžiovinam ir tiksliai (0,001 tikslumu) jį pasveriame; jo masė m_1.

Įstatome katodą į indą. Aparatūrą sujungiame pagal schemą. Į indą įpilame tiek $CuSO_4$ skiedinio, kad bent $^3/_4$ elektrodų būtų pasinėrę. Sujungiame grandinę ir leidžiame 0,5—1 A srovę apie 30—40 minučių. Išjungiame srovę, išimame katodą, nuplaunam jį, išdžiovinam, pasveriam, jo masė m_2. Nugulusi ant katodo vario masė

$$M = m_2 - m_1.$$

Įstatom išmatuotus davinius į formulą ir išskaičiuojame k.

Įvertiname klaidą:

$$\pm \Delta k = \pm k \left(\frac{\Delta m_1 + \Delta m_2}{m_2 - m_1} + \frac{\Delta I}{I} + \frac{\Delta t}{t} \right).$$

§ 51. Kompensacijos būdas. Potenciometras

1. Elementų potencialų skirtumo matavimas

Elektros srovei bėgant, jos šaltinio—elemento potencialų skirtumas mažėja; todėl dirbančio elemento potencialų skirtumas arba elektros varomoji jėga yra mažesnė už nedirbančio elemento potencialų skirtumą. Norėdami sužinoti tikrąjį bet kurio elemento potencialų skirtumą, pasirenkam tokį matavimo būdą, kad matuojant elektros srovė nebėgtų. Dažniausiai matuojame kompensacijos būdu.

Paprasčiausią kompensacijos aparatą sudaro Wheatstone'o tiltelio viela, fig. 124 pažymėta AD. E žymi akumuliatorių, $E_ž$ — žinomo potencialų skirtumo, E_x — nežinomo potencialų skirtumo elementus, R — keičiamos varžos varžyną, G — galvanometrą, K_1 ir K_2 — jungtukus.

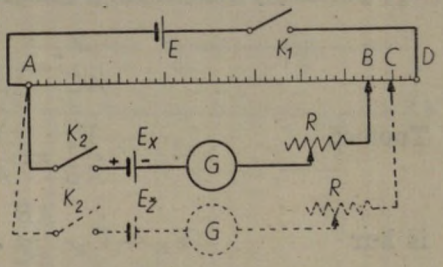

Fig. 124.

Iš figūros matyti, kad visą elektros grandinę galima padalinti į dvi atskiras grandines: vieną jų $EADE$ sudaro akumuliatorius E, viela AD ir jungtukas K_1, o antrą E_xK_2 $ABRGE_x$ — elementas E_x, jungtukas K_2, vielos dalis AB, varžynas R ir galvanometras G. Kai akumuliatoriaus teigiamas polis sujungtas su A, jo grandinėje $EADE$ potencialas krinta kryptimi EAD. Jei tarp taškų A ir D jis nukrinta V vienetų, tai vienam ilgio vienete (pvz., 1 cm arba 1 mm) jis nukrinta V/AD dydžiu. Antroje grandinėje $E_xK_2ABRGE_x$ potencialas krinta kryptim E_xK_2ABRG, kuomet elemento E_x teigiamas polis sujungtas su A. Tarp taškų A ir B jis nukrinta V_x, vienam ilgio vienete — V_x/AB dydžiu. Tašką B visuomet galime taip parinkti, kad būtų:

$$V/AD = V_x/AB.$$

Tuomet antroje grandinėje elektros srovė nebėga ir galvanometras G neatsilenkia. Potencialų skirtumą V bei vielos ilgius AD ir AB žinant, galima išskaičiuoti V_x :

$$V_x = V \cdot \frac{AB}{AD} \ldots\ldots\ldots (1)$$

Jungiamųjų laidų varža paprastai yra maža, lyginant AD ir AB varžas. Taigi potencialų skirtumas V tarp taškų A ir D lygus akumuliatoriaus E potencialų skirtumui, ir V_x — elemento E_x potencialo skirtumui, tik, žinoma, tada, kai varžyne R nėra paimta jokios varžos.

Bet šis matavimo būdas nėra labai tikslus, kadangi akumuliatoriaus potencialo skirtumas nėra tiksliai žinomas ir, be to, jis visuomet šiek tiek kinta. Norėdami ieškomąjį potencialų skirtumą tiksliau išmatuoti, lyginame jį su žinomu ir griežtai pastoviu norminio elemento potencialo skirtumu. Tuomet, įjungę nežinomą elementą ir kompensavę, kaip anksčiau aprašyta, jį pakeičiame norminiu elementu, kurio potencialo skirtumas $V_ž$; pastarąjį kompensavę, gauname:

$$\frac{V_ž}{AC} = \frac{V}{AD}.$$

Tuomet

$$\frac{V_x}{AB} = \frac{V_ž}{AC},$$

iš kur

$$V_x = V_ž \cdot \frac{AB}{AC} \ldots\ldots\ldots (2)$$

Taip matuojame. Sujungiame figuroje 124 parodytą grandinę. Akumuliatoriaus potencialų skirtumas turi būti visuomet didesnis už matuojamąjį ir norminio elemento potencialų skirtumus, nes tik tuomet tegalima kompensuoti. Iš pradžių varžyne R imame didesnę varžą, kad pro galvanometrą bėgtų tik silpna elektros srovė, kol dar nėra ji kompensuota; nes, elektros srovei bėgant, elemento, ypatingai norminio, potencialų skirtumas mažėja ir, kai tik ilgesnį laiką pastovi elementas neįjungtas, teatgauna vėl pirminę savo vertę. Stumdydami slankiojantį kontaktą, surandam tokią vietą, kuomet galvanometras nebeatsilenkia, sujungus jo grandinę. Tada pamažu mažiname varžyno R varžą, nuolat tikrindami kompensaciją.

Iš pradžių kompensuojame matuojamąjį, o vėliau norminį elementus ir surandame ilgius AB ir AC. Davinius įstatom į formulę (2) ir išskaičiuojam ieškomąjį potencialų skirtumą V_x.

Surandam bent dviejų elementų V_x. Paskui tuos du elementus sujungiam nuosekliai ir išmatuojam jų bendrą potencialų skirtumą. Tą pat padarom, sujungę juos lygiagrečiai.

Gautuosius davinius sulyginam su išskaičiuotais. Dviejų, turinčių potencialų skirtumus V_1 ir V_2, sujungtų nuosekliai elementų atstojamasis potencialų skirtumas

$$V = V_1 + V_2.$$

Įvertinam gauto rezultato klaidą:

$$\pm \Delta V_x = \pm V_x \left(\frac{\Delta AB}{AB} + \frac{\Delta AC}{AC} \right).$$

2. Elementų vidaus varžos matavimas potenciometru

Galvaninio elemento vidaus varžą galima išmatuoti įvairiais būdais. Dažnai ji matuojama kompensacijos metodu (žrk. § 51, 1). Sujungę kompensacijos grandinę (fig. 125), išmatuojame tiriamojo elemento elektros varomąją jėgą V. Visai kompensavus stumdomasis kontaktas randasi taške C. Tada lygiagrečiai matuojamam elementui prijungiame žinomos (dažniausiai ima 2—5 Ω) varžos varžyną R ir vėl išmatuojame elemento potencialų skirtumą V'. Pastarasis bus mažesnis už V, nes per varžyną bėga elektros srovė. Dabar kompensaciją gauname taške C' ir $AC' < AC$. Pagal potenciometro principą

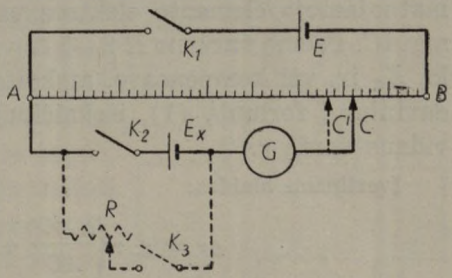

Fig. 125.

$$\frac{V'}{V} = \frac{AC'}{AC}.$$

Jei elemento vidaus varža yra r, o varžyno — R, tai bėgančios sudarytoje iš elemento ir varžyno grandinėje elektros srovės jėga

$$I = \frac{V}{R+r},$$

arba

$$V = I\,(R+r).$$

Potencialų skirtumas varžyno galuose

$$V' = IR.$$

Tokiu būdu $$\frac{V'}{V} = \frac{R}{R+r}$$

ir $$\frac{AC'}{AC} = \frac{R}{R+r}.$$

Iš čia $$r = R\left(\frac{AC}{AC'} - 1\right) \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

Matuojame taip. Sujungiame fig. 125 duotą schemą. AB žymi vielą, E ir E_x žinomąjį ir matuojamąjį elementus, R — keičiamos varžos varžyną, G — miliampermetrą, K_1, K_2 ir K_3 — jungtukus.

Iš pradžių, sujungę jungtukus K_1 ir K_2, kompensuojame matuojamojo elemento elektros varomąją jėgą V ir atskaitome AC. Paėmę varžyne R 2—5 Ω varžos, sujungiame ir jungtuką K_3 ir, vėl kompensavę, atskaitome AC'. Įstatę išmatuotus davinius į formulą (1), išskaičiuojame matuojamojo elemento vidaus varžą r.

Įvertiname klaidas:

$$\Delta r = \pm r\left(\frac{\Delta AC'}{AC'} + \frac{\Delta AC}{AC}\right).$$

§ 52. Termoelektros varomoji jėga.

Kai elektros grandinė sudaryta iš dviejų skirtingos medžiagos, pvz., vario ir geležies, laidų, tai, pašildžius vieną laidų jungimo arba lydymo vietą, grandinės galuose gaunamas potencialų skirtumas arba elektros varomoji jėga, o jei grandinė sujungta, tai ja bėga elektros srovė. Šią elektros varomąją jėgą vadiname termoelektros varomąja jėga, o dviejų skirtingų metalų laidą — termoelementu.

Termoelektros varomoji jėga gaunama tik tuomet, kai grandinę sudarančių skirtingų metalų lydymo vietos turi skirtingas temperatūras. Mažiems temperatūrų skirtumams ji yra tiesiai proporcinga lydymo vietų temperatūrų skirtumui, tačiau

vandens ir ledo (arba sniego) mišinį ir palaukę, kol lydymo vieta A atvės iki 0^0, sujungiame grandinę ir atskaitome galvanometro atsilenkimą. Šildome indą B su smėliu ir sekame termometrų T parodymus. Kas 20^0—25^0 sujungiame grandinę ir atskaitome galvanometro atsilenkimą. Šildome iki 350^0—400^0. Kai galvanometro atsilenkimai tiek padidėja, kad skalos padalinimai išbėga iš matomojo lauko, tai galvanometrą tinkamai šuntuojame, sumažindami bėgančios galvanometru elektros srovės jėgą.

Paskui nustojame šildę ir sekame vėsimą, taipgi kas 20^0—30^0 atskaitinėdami galvanometro atsilenkimus. Taip matuojame tol, kol lydymo vieta B atvės iki kambario temperatūros.

Išbrėžiame termoelektros srovės jėgos arba galvanometro atsilenkimų, kurie tiesiog proporcingi elektros srovės jėgai, kreivę. Vienoje stačiakampių koordinatų ašyje sužymime temperatūras, antroje — galvanometro atsilenkimus ir tarp taškų išvedame kreivę. Ši nusako termoelektros srovės jėgos ir termoelektros varomosios jėgos kitimo eigą, kintant lydymo vietų temperatūrų skirtumui.

Kai galvanometro statinė konstanta (jo jautrumas) C yra žinoma, galima išskaičiuoti termoelektros varomąją jėgą V įvairiems temperatūrų skirtumams. Kuomet varžyne paimta varža $R\ \Omega$, galvanometro varža $R_1\ \Omega$, atšakos ab — $r\ \Omega$, tai

$$V = \frac{CR\,(r + R_1)}{r}\, n\ \mathrm{V},$$

čia n — galvanometro atsilenkimas.

Ją išskaičiuojame įvairiems temperatūrų skirtumams.

Įvertiname V klaidą:

$$\pm \Delta V = \pm V \frac{\Delta n}{n}.$$

§ 53. Joule'o šilima

1. Elektros šiliminio ekvivalento nustatymas

Kai elektros srovė bėga laidu, jis įšyla. Sukuriamas šilimos kiekis laide yra tiesiog proporcingas elektros srovės jėgai I, potencialų skirtumui V jo galuose ir laikui s, kurį bėga elektros srovė. Taigi, laido įgytas šilimos kiekis

$$Q = k V I s, \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

čia k — proporcingumo koeficientas, vadinamas *šiliminis elektros ekvivalentas.* Kai $I = 1$ A, $V = 1$ V, $s = 1$ sek, tai $Q = k$; *šiliminis elektros ekvivalentas parodo tą kalorijų skaičių, kurį sukuria 1 A elektros srovė, bėgdama 1 sek laidu, kurio galuose potencialų skirtumas yra 1 V.*

Šilima laide gaunama iš elektros energijos, kuri virsta šilimine energija (Joule'o šilima). Elektros energijos kiekis

$$E = V I s \text{ Wsek.}$$

Taigi, $$Q = kE;$$

iš čia $$k = \frac{Q}{E} = \frac{Q}{V I s} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

Šiliminį elektros ekvivalentą galima nusakyti ir taip: *jis parodo tą kalorijų skaičių, kuris gaunamas, kai elektros energijos* 1 Wsek *virsta šilimos energija.*

Jei laido varža R, tai $V = I R$, taigi,

$$Q = kI^2Rs. \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3).$$

Elektros energijos vienetai yra vatas - sekundė (Wsek) arba kilovatas - valanda (kWh).

Elektros srovės galios vienetas yra vatas (W); jis išreiškiamas 1 A ir 1 V sandauga; 1000 W = 1 kilovatas (kW).

Elektros šiliminį ekvivalentą ieškant, reikia žinoti elektros srovės sukurtoji šilima Q ir šitai šilimai sukurti reikalinga elektros energija E. Šilimą matuojame kalorimetru, į kurį įdedame elektros srovės šildomą laidą. Tegu kalorimetre esančio vandens masė yra M g, kalorimetro indo su maišikliu masė m g, jo specifinė šilima c, pradinė vandens ir kalorimetro indo temperatūra $t_1{}^0$, galinė, pašildžius vandenį — $t_2{}^0$, tai gautas šilimos kiekis

$$Q = (M+mc)(t_2—t_1)$$ kalorijų.

Kai šiam šilimos kiekiui sukurti buvo sunaudota $E = VIs$ Wsek elektros energijos kiekis, tai

$$(M + mc)(t_2 — t_1) = kVIs.$$

Iš čia

$$k = \frac{Q}{E} = \frac{(M + mc)(t_2 — t_1)}{VIs} \quad \frac{\text{kal}}{\text{Wsek}} \quad \ldots\ (4)$$

Šiliminį elektros ekvivalentą k taip matuojame. Iš pradžių pasveriame tuščią kalorimetro indą su maišikliu, vėliau pasveriame jį su vandeniu; surandame vandens ir kalorimetro indo mases M ir m. Į kalorimetrą įdedame tam reikalui paruoštą laidą vandeniui šildyti, įstatome termometrą ir matuojame vandens temperatūrą $t_1{}^0$. Sujungiame, kaip parodyta figūroje 127, elektros grandinę. Čia E pažymėtas elektros srovės šaltinis, A — ampermetras, R — varžynas, K — jungtukas, T — termometras, k — kalorimetras, r — šildomasis laidas. Leidžiame 0,7—1,0 A jėgos elektros srovę. Pasižymime sau laiką, kada elektros srovę įjungiame ir išjungiame, sekame, kad ji būtų pastovi, nekitėtų. Maišome vandenį kalorimetre ir stebime temperatūros kilimą. Kai vandens temperatūra pakyla 1—2°, elektros srovę išjungiame, gerai išmaišome vandenį ir atskaitome vandens temperatūrą $t_2{}^0$. (Kaip surandame tikrąsias pradinę ir galinę temperatūras, aprašyta § 37). Voltmetru išmatuojame potencialų skirtumą taškuose a ir b.

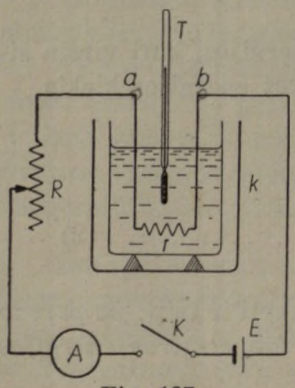

Fig. 127.

Gautus davinius įstatome į formulą (4) ir išskaičiuojame šiliminį elektros ekvivalentą k.

Jo klaida

$$\pm \Delta k = \pm k\left(\frac{\Delta M + c\Delta m}{M + cm} + \frac{2\Delta t_1}{t_2 — t_1} + \frac{\Delta V}{V} + \frac{\Delta I}{I} + \frac{\Delta s}{s}\right).$$

2. Mechaninis šilimos ekvivalentas

Energija esti įvairių rūšių, k. a. mechaninė, elektrinė, cheminė ir t. t. Vienos rūšies energija gali virsti kitos rūšies energija, taip, mechaninė energija gali virsti šilimine; cheminė energija — elektros arba šilimine energija ir p. Energijos rūšiai kintant, visuomet tam tikras pastovus vienos rūšies energijos kiekis yra ekvivalentingas (tolygus) kitos rūšies pastoviam kiekiui, taip, bet kuris mechaninės energijos kiekis tepajėgia sukurti visada tik tam tikrą pastovų šilimos arba elektros energijos kiekį.

Mechaniniu šilimos ekvivalentu vadiname tą mechaninės energijos kiekį, kuris sukuria vieną šilimos energijos kaloriją (didžiąją arba mažąją).

Mechaninę energiją matuojame ergais, džiauliais arba kilogramo-metrais. 1 J = 10^7 erg.; 1 kgm = 981 . 10^5 erg.

Žinant šiliminį elektros ekvivalentą k, galima išskaičiuoti ir mechaninį šilimos ekvivalentą. Vienai šilimos kalorijai sukurti reikalinga $\frac{1}{k}\ \frac{\text{Wsek}}{\text{kal}}$ arba $\frac{10^7}{k}\ \frac{\text{erg}}{\text{kal}}$, nes 1 Wsek = = 10^7 erg.

3. Elektrinis šildymas.

Reikia rasti, kiek kainuoja elektros energija 1 litro vandens masei pašildyti nuo 0^0 iki 100^0. Imame elektrinį virdulį B, termometrą T ir ampermetrą A. Sujungiame elektros grandinę, kaip nurodyta fig. 128. Į virdulį įpilame G (arti 1 kg) g vandens, įstatome termometrą ir išmatuojame vandens temperatūrą T_1. Pasižymime laiką s_1 ir įjungiame elektros srovę; ampermteru A išmatuojame jos jėgą I. Pašildę vandenį, atskaitome jo temperatūrą T_2 ir, pasižymėję laiką s_2, išjungiame elektros srovę.

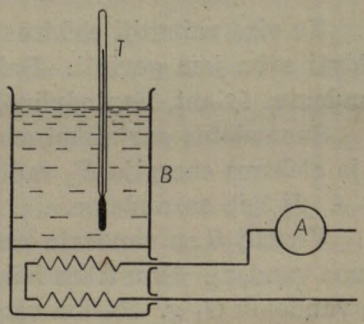

Fig. 128.

Kai potencialų skirtumas lygus V (V = 220 voltų), tai darbo metu sunaudojame

$$V\,I(s_2—s_1)\ \text{Wsek}$$

elektros energijos ir vandeniui suteikiame

$$G\ (T_2 — T_1)$$

kalorijų šilimos. 1 l (1000 g) vandens masei pašildyti nuo 0° iki 100° reikalinga 100.000 kalorijų šilimos. Joms gauti teks sunaudoti

$$E = \frac{V\,I\ (s_2 — s_1).100000}{G\ (T_2 — T_1)}\ \text{Wsek},$$

arba

$$E = \frac{V\,I\ (s_2 — s_1)}{36\ G\ (T_2 — T_1)}\ \text{kWh}$$

elektros energijos, nes 1 Wsek = $^1/_{3600000}$kWh.

Už 1 kWh energijos reikia mokėti k, pvz., Kaune 0,75 lt. Taigi, už energiją, reikalingą 1 l vandens masei pašildyti nuo 0° iki 100°, reikia užmokėti

$$K = k\,\frac{V\,I\ (s_2 — s_1)}{36\ G\ (T_2 — T_1)}\ \text{lt.}$$

Išskaičiuoto rezultato klaida

$$\pm\,\Delta K = \pm\,K\left(\frac{\Delta I}{I} + \frac{2\Delta T_1}{T_2—T_1} + \frac{2\Delta s_1}{s_1—s_2} + \frac{\Delta G}{G}\right).$$

4. Garinimo naudos koeficientas

Ne visa paimtoji elektros energija sunaudojama vandeniui šildyti arba jam garinti. Dalis jos virsta šilima laiduose bei, vandeniui šylant, išspinduliuojama į aplinką.

Sunaudotos garinimui energijos E_1 santykį su visa paimtąja elektros energija E_2 vadiname garinimo naudos koeficientu η. Jį taip surandame.

Virdulį B su vandeniu padedame ant svarstyklių ir užviriname vandenį. Tam tikru laiku s_1 virdulį pasveriame; jo masė su vandeniu G_1 g. Paskui vandenį viriname 10—15 min. ir vėl pasveriame, pasižymėdami svėrimo laiką s_2; gauname masę G_2 g. Per $(s_2—s_1)$ sek išgaruoja vandens masė $(G_1—G_2)$ g. Jai išgarinti reikalinga

$$E_1 = 536\ (G_1 — G_2)\ \text{kal}$$

šilimos; 536 $\frac{\text{kal}}{\text{g}}$ yra slaptoji vandens garavimo šilima. Ampermetru A išmatuojam elektros srovės jėgą I. Darbo metu buvo sunaudota elektros energija

$$E_2 = VI\,(s_2 - s_1)\ \text{Wsek},$$

arba

$$E_2 = 0{,}239\,VI\,(s_2 - s_1)\ \text{kal}.$$

0,239 yra šiliminis elektros ekvivalentas. Taigi, garinimo naudos koeficientas

$$\eta = \frac{E_1}{E_2} = \frac{536(G_1 - G_2)}{0{,}239VI(s_2 - s_1)}.$$

Išmatuotus davinius įstatome į šią formulą ir išskaičiuojame η.

Išskaičiuoto rezultato klaida

$$\pm\Delta\eta = \pm\eta\left(\frac{2\Delta G}{G_1 - G_2} + \frac{\Delta I}{I} + \frac{2\Delta s_1}{s_2 - s_1}\right).$$

5. Metalo ir anglies elektros lempos

Bet kuriuo laidu bėgdama elektros srovė šildo jį. Gaunamas šilimos kiekis yra proporcingas suvartojamam elektros energijos kiekiui. Kai ši šilima visai neatiduodama į aplinką arba atiduodama labai lėtai, tai laidas gali tiek įkaisti, jog pradeda šviesti. Taip šviečia elektros srovės kaitinamas laidas elektros lempoje. Pastarąją sudaro kriaušės pavidalo, be oro stiklo indelis, į kurį talpinamas kaitinamasis laidas; šio galai sujungti su metaline lempos apkaba, kuri įsukama į Edison'o patroną. Paprastai elektros lempos tuščios; kartais jas užpildo įvairiomis dujomis, k. t. azotu ir kitomis.

Elektros lempų kaitinamasis siūlas gaminamas iš įvairių medžiagų. Naudojamos šviesai gauti elektros lempos turi metalinius siūlus; įvairiems kitiems tikslams skiriamų lempų siūlai dirbami ir iš metaloidų, k. t. anglies, seleno ir k.

Laido temperatūrai kintant, keičiasi ir jo varža. Temperatūrai kylant, metalinių laidų varža didėja, metaloidinių — mažėja. Taigi, kaitinamajai elektros srovei stiprėjant, metalinių siūlų elektros lempų varža didėja, o anglies lempų — mažėja.

Kai elektros lempos siūlo varža R_1, kita grandinės varža R (fig. 129), grandinės potencialų skirtumas V, tai bėgančios grandinėje (ir elekt. lempoje) elektros srovės jėga lygi

$$I = \frac{V}{R_1 + R};$$

Iš čia $$IR_1 = V - IR = V_1;$$

$V_1 = IR_1$ yra elektros lempos siūlo galų potencialų skirtumas.

Keičiant grandinės varžą R, kinta ir elektros lempos potencialų skirtumas; tinkamai parinkus varžą, pastarąjį galime keisti tarp 0 ir V. Elektros lempos varža $R_1 = V_1/I$. Išmatavę V_1 ir I, galime išskaičiuoti R_1.

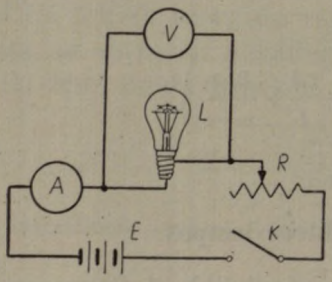

Fig. 129.

Nuo elektros-lempos kaitinamojo siūlo ypatybių pareina ir jos duodamos šviesos jėga. Vienos lempos, suvartodamos tam tikrą energijos kiekį, šviečia stipriau, kitos silpniau. Lyginant įvairių rūšių elektros lempų ekonomingumą, reikia surasti, kiek jos suvartoja per tą patį laiką, pvz., 1 sek., elektros energijos vienai Hefner'io žvakei.

Elektros lempos suvartota energija išreiškiama paprastai kilovat-valandomis. Žinant 1 kWh kainą K (Kaune = 0,75 lt), galima išskaičiuoti, kiek kainuoja elektros lempos duodama per tam tikrą laiką šviesa.

Išmatavę šviesos jėgą, galime surasti ir el. lempos suvartojamą energiją kiekvienai H - žvakei, kitaip sakant, jos ekonomingumą

$$L = \frac{\text{vatų sk.}}{\text{žvakių sk.}}.$$

Matuojame taip. Sujungiame fig. 129 nurodytą el. grandinę. Čia L žymi elektros lempą, R — varžyną, V — voltmetrą, A — ampermetrą, K — jungtuką, E — elektros srovės šaltinį. Imdami įvairias varžas varžyne R, keičiame elektros lempos potencialų skirtumą nuo galimo mažiausio iki didžiausio (220 V) ir kas 10 V matuojame bėgančios grandinėje elektros srovės

jėgą I ir potencialų skirtumą V_1. Tai darome skyrium su metalo ir anglies siūlų lempomis. Davinius surašome lentelėn:

Metalo lempa			Anglies lempa		
V_1	I	$R_1 = \frac{V_1}{I}$	V_1	I	$R_1 = \frac{V_1}{I}$

Išskaičiuojame abiejų lempų atitinkamas varžas. Jų kitimą pavaizduojame grafiškai, išbrėždami kreivę $R_1 = f(I)$; vienoje stačiakampių koordinatų ašyje sužymime elektros srovės jėgas I, antroje atitinkamas varžas R_1 ir išvedame tarp taškų kreivę. Išskaičiuojame abiejų elektros lempų ekonomingumą L bei vienos H - žvakės šviesos kainą per valandą. Šviesos jėgą išmatuojame fotometru.

Įvertiname klaidas:

$$\Delta R_1 = \pm R_1 \left(\frac{\Delta V_1}{V_1} + \frac{\Delta I}{I} \right).$$

§ 54. Kintamoji elektros srovė

Periodiškai besikeičiančią elektros srovę vadiname kintama elektros srove. Kiekvieną periodinį svyravimą galime išreikšti kaip harmoningų, sinus arba cosinus svyravimų sumą, kuriuos taip nusakome:

$$A = A_0 \sin \frac{2\pi}{T} t,$$

čia A bet kuris harmoningai kintąs dydis, A_0 — jo didžiausia vertė, T — svyravimo periodas, t — praėjęs nuo stebėjimo pradžios laikas. Periodų skaičius ν per 1 sek vadinamas dažnumu, taigi,

$$\nu = \frac{1}{T}.$$

Dydį $2\pi\nu$ vadiname cikliniu dažnumu. Jį žymime ω. $2\pi\nu t = \omega t$ vadiname svyravimo faze. Tokiu būdu,

$$A = A_0 \sin \frac{2\pi}{T} t = A_0 \sin 2\pi\nu t = A_0 \sin \omega t.$$

Iš visų periodinių svyravimų harmoningi sinus (arba cosinus) svyravimai yra paprasčiausi, todėl kiekvieną periodinį svyravimą, pvz., bet kurią periodinę elektros srovę, stengiamės išreikšti eile harmoningų sinus (arba cosinus) svyravimų ir pastaruosius nagrinėjame.

1. Kintami potencialų skirtumas ir elektros srovės jėga

Sakysim, kad turime harmoningai kintamą sinusinę elektros srovę. Kintamos elektros srovės jėgą ir potencialų skirtumą įvairiai nusakome. Tokie yra kintamos elektros srovės jėgos bei kintamų potencialų skirtumai.

1. Efektyvi kintamos el. srovės jėga I_e (ir efektyvus potencialų skirtumas V_e) (dažnai tiesiog — kintamos el. srovės jėga ir potencialų skirtumas); ji(jis) yra lygi(us) antrojo laipsnio šakniai iš akimirksninės (momentinės) srovės jėgos I (ir akimirksninio potencialų skirtumo V) antrojo laipsnio vidutinės vertės:

$$I_e = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T I^2 dt} \quad \text{ir} \quad V_e = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T V^2 dt}.$$

2. Didžiausia kintamos elektros srovės jėga (ir didžiausias potencialų skirtumas); tai yra didžiausioji akimirksninės elektros srovės jėgos (ir potencialų skirtumo) vertė I_0, kai $I = I_0 \sin \omega t$ (V_0, kai $V = V_0 \sin \omega t$).

Turint sinusinę elektros srovę, arba sinusinį potencialų skirtumą,

$$I_e = \frac{I_0}{\sqrt{2}} = 0{,}707 I_0; \quad V_e = \frac{V_0}{\sqrt{2}} = 0{,}707 V_0.$$

3. Elektrolitinė elektros srovės jėga I; ji lygi akimirksninės elektros srovės jėgos algebrinei, t. y. išskaičiuotai atsižvelgiant į el. srovės kryptį, vidutinei vertei:

Efektyvi elektros srovės jėga

$$I_e = \frac{V_e}{R_e}.$$

Išmatavę V_e ir I_e, iš duotosios formulos galime išskaičiuoti grandinės elektrinę varžą R_e kintamai elektros srovei. Tačiau ją galime taip pat išskaičiuoti, kai yra žinomi grandinės ominė varža R, jos indukcija L, talpa C ir kintamos elektros srovės dažnumas ν, arba ciklinis dažnumas ω.

a) Kai grandinėje turime induktyvų laidą, kurio ominė varža R, indukcija L, tai tokio laido varža R_e kintamai elektros srovei, kurios dažnumas ω, yra lygi:

$$R_e = \sqrt{R^2+\omega^2L^2} = R\sqrt{1+\frac{\omega^2L^2}{R^2}}.$$

b) Kai ominės varžos R grandinėn įjungiama C talpos kondensatorius, tuomet

$$R_e = \sqrt{R^2+\frac{1}{\omega^2C^2}} = R\sqrt{1+\frac{1}{R^2C^2\omega^2}}.$$

c) Pagaliau, turint ominės varžos R grandinėje indukciją L ir talpą C,

$$R_e = \sqrt{R^2+\left(\omega L-\frac{1}{\omega C}\right)^2}.$$

3. Kintamos elektros srovės galia

Kai laido galuose potencialų skirtumas V ir laidu bėga I jėgos elektros srovė, tai per laiko tarpą dt atliekamas elektros srovės darbas lygus

$$VIdt,$$

o per visą periodą —

$$\int_0^T VIdt.$$

Tuomet vidutinė elektros srovės galia

$$G = \frac{1}{T}\int_0^T VIdt.$$

Neturinčioje nei indukcijos nei talpos grandinėje kintamos elektros srovės galia

$$G = V_e I_e.$$

Sinusinės elektros srovės galią galime ir taip išreikšti:

$$G = {}^1/_2 I_0 V_0.$$

Kuomet grandinėje yra indukcija ir talpa, tai bėgančios joje kintamos elektros srovės fazė skiriasi nuo potencialų skirtumo fazės. Kai šis fazių skirtumas yra φ, tai elektros srovės galia

$$G = V_e I_e \cos \varphi.$$

Galios ir efektyvių elektros srovės jėgos ir potencialų skirtumo sandaugos santykis vadinamas galios faktoriu. Sinusinei elektros srovei jis lygus $\cos\varphi$.

Iš pradžių patikriname Ohm'o dėsnį pastoviai el. srovei. Sujungiame grandinę, įjungdami jon laidą: a) be indukcijos,

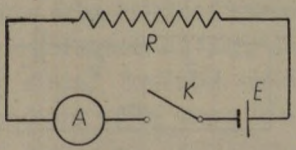

Fig. 130.

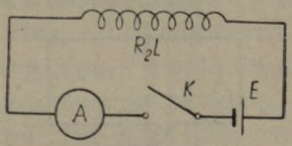

Fig. 131.

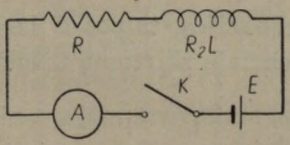

Fig. 132.

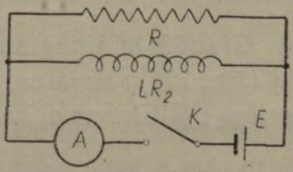

Fig. 133.

turintį varžą R (fig. 130); b) induktyvų, varžos R_2 ir indukcijos L (indukcijos špūlę) (fig. 131); c) abu minėtus laidus nuosekliai (fig. 132); d) abu minėtus laidus lygiagrečiai (fig. 133). E žymi pastovios el. srovės šaltinį, K — jungtuką, A — ampermetrą, R ir L — laidus. Voltmetru išmatuojame potencialų skirtumą V, ampermetru A — elektros srovės jėgą I. Išskaičiuojame įjungtų laidų varžą iš formulos

$$R = \frac{V}{I};$$

c) ir d) matavimų davinius palyginame su a) ir b) matavimų daviniais, turėdami galvoje, kad nuosekliai įjungiant varžos R ir R_2 laidus, jų atstojamoji varža R_1 lygi abiejų laidų varžų sumai $R_1 = R + R_2$, o, jungiant laidus lygiagrečiai, atstojamoji varža

$$R_1{}^1 = \frac{R R_2}{R + R_2}.$$

a), b), c), ir d) tyrimus pakartojame, įjungę kintamą elektros srovę. Kintamos elektros srovės voltmetru ir ampermetru išmatuojame efektyvius potencialų skirtumą V_e ir elektros srovės jėgą I_e. Įsitikiname, kad šiame atsitikime:

a) $R = \frac{V_e}{I_e}$; b) $R_e = \frac{V_e}{I_e} = \sqrt{R_2{}^2 + \omega^2 L^2}$;

c) $R_e = \frac{V_e}{I_e} = \sqrt{R_1{}^2 + \omega^2 L^2}$ ir d) $R_e = \frac{V_e}{I_e} = \sqrt{(R_1{}^1)^2 + \omega^2 L^2}$,

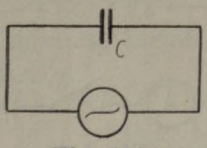

Fig. 134.

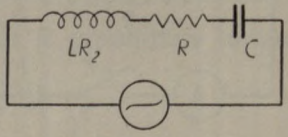

Fig. 135.

e) Grandinėn įjungiame be indukcijos, talpos C kondensatorių (fig. 134); išmatuojame potencialų skirtumą ir elektros srovės jėgą; įsitikiname, kad

$$R_e = \frac{V_e}{I_e} = \frac{1}{\omega C}.$$

f) Grandinėn įjungiame induktyvų, ominės varžos R_2 ir indukcijos L laidą, be indukcijos, ominės varžos R laidą ir talpos C kondensatorių (fig. 135). Išmatavę potencialų skirtumą V_e ir elektros srovės jėgą I_e, įsitikiname, kad

$$R_e = \frac{V_e}{I_e} = \sqrt{R_1{}^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}.$$

Pagaliau išskaičiuojame visuose atsitikimuose elektros srovės galią G. Turint pastovią elektros srovę, jos galia yra

$$G = I \,.\, V.$$

Bėgant kintamai elektros srovei, galia taip išreiškiama:

$$G = V_e \, I_e \cos \varphi,$$

kur $$\cos \varphi = \frac{R}{R_e}$$

Kai potencialų skirtumą matuojame voltais, elektros srovės jėgą amperais, tai galia bus išreikšta vatais (arba džiauliais/sek).

§ 55. Elektromagnetinė indukcija.

Kai laido apjuosiamą plokštumą (kartais dar vadinamą elektros srovės plokštumą) kertančių magnetinių jėgų linijų skaičius kinta, tai atvirame laide indukuojamas potencialų skirtumas arba elektros varomoji jėga, o sujungtame — ir elektros srovė. Magnetinių jėgų linijų skaičius, arba magnetinis sriautas, kinta, keičiant elektros srovės jėgą, dviejų ir daugiau grandinių vietą viena kitos atžvilgiu arba jų pavidalą. Paskutinį atsitikimą išskirsime sakydami, jog grandinės pavidalas nekinta.

Faraday'us nustatė, kad indukuota elektros varomoji jėga nepareina nuo grandinės laidų medžiagos, bet yra proporcinga magnetinio sriauto, taigi ir elektros srovės jėgos I, pasikeitimui per laiko vienetą (1 sek). Proporcingumo veiksnys, pareinąs kalbamajam atsitikime tik nuo grandinės geometrinio pavidalo, vadinama *elektromagnetinės indukcijos koeficientu* arba tiesiog *elektromagnetine indukcija;* ją žymime L. Taigi, kai per laiką dt elektros srovės jėga pakinta dI, tai

$$\text{induk. elektros varomoji jėga} = -L\frac{dI}{dt}.$$

Kai grandinėje, kintant elektros srovės jėgai vienetu per 1 sek, indukuojama elektros varomosios jėgos vienetas, tai tuomet gaunamas elektromagnetinės indukcijos vienetas.

Praktiškas elektromagnetinės indukcijos vienetas yra *henris*. Tai yra tokia indukcija, kuri gaunama, kai kintant elektros srovės jėgai 1 A per 1 sek, indukuojama 1 V elektros varomoji jėga. 1 henris $=10^9$ elektromagn. indukcijos vienetų$=$ $=1/9\,10^{-11}$ elektrostat. indukcijos vienetų. Elektromagnetinės indukcijos dimensija elektromagnetinėje vienetų sistemoje yra centimtras:

$$[L] = [\text{cm}].$$

Indukuota elektros varomoji jėga ir elektros srovė gali būti sužadinta toje pačioje grandinėje, kurioje elektros srovės bėga, arba gretimose grandinėse. Pirmajam atsitikime turime *savąją indukciją*, antrajam — *tarpinę* indukciją. Tik nedaugely atsitikimų galima išskaičiuoti savąją bei tarpinę indukcijas. Kai, pvz., labai ilgas solenoidas turi nedidelį skersinio piūvio plotą, tai jo savąją indukciją taip skaičiuojame. Surandame solenoido skersinio piūvio plotą A, jo apvijų skaičių 1 cm ilgyje n_0 bei visą jo apvijų skaičių $n_0 l$, kur l — solenoido ilgis. Vienas elektros srovės jėgos vienetas sukelia $4\pi n_0 A$ magnetinių jėgų linijų; tokio solenoido savoji indukcija lygi

$$4\pi n_0 A \,.\, n_0 l = 4\pi n_0^2 A l \text{ elektromagn. vien.,}$$

arba $4\pi n_0^2 A l \,.\, 10^{-9}$ henrių.

Kai kada galime išskaičiuoti ir tarpinę indukciją. Pvz., kai dvi špulės yra užmautos viena ant antros, kurių išorinė, glaudžiai prigulusi prie vidaus, yra trumpa, palyginti su vidaus špūle, ir randasi pastarosios viduryje, tai tarpinę indukciją taip skaičiuojame. Surandame vidaus špūlės apvijų skaičių n 1 cm ilgyje, jos stipiną r. Pastaras turi būti nedidelis, palyginus su špūlės ilgiu. Vidaus špūlėje elektros srovės vienetas sukelia

$$4\pi n \,.\, A = 4\pi^2 n r^2$$

magnetinių jėgų linijų; jos visos praeina ir pro išorinės špūlės apvijas. Kai pastarųjų skaičius yra N, tai tokių dviejų špūlių tarpinė indukcija L yra lygi:

$$L = 4\pi^2 n r^2 . N \text{ elektromagn. vien.} = 4\pi^2 n r^2 N . 10^{-9} \text{ henrių.}$$

Bet dažniausiai elektromagnetinę indukciją tenka matuoti arba lyginti su jau žinoma indukcija.

1. Tarpinės indukcijos nustatymas

Tarpinę indukciją šiuo būdu matuojame. Sujungiame grandinę, kaip parodyta fig. 136. Joje sužymėta: E elektros srovės šaltinis, K — jungtukas, R_1 ir R_2 — be indukcijos varžynai, C — keičiamos talpos kondensatorius, G — galvanometras, M — dvi indukcijos špūlės, užmautos viena ant antros. Elektros srovės šaltinio grandinėje, ją sujungus, bėga jėgos I elektros srovė. Kai varžyne R_1 yra paimta r_1 varža, potencialų skirtumas jo galuose yra lygus Ir_1, ir talpos C kondensatorius bus įelektrintas CIr_1 elektros kiekiu. Tegu jis įsielektrina arba išsielektrina per t sek. Įsielektrinimo srovės vidutinė jėga yra $\frac{CIr_1}{t}$, ir potencialų skirtumas varžyno R_2 galuose, kai jame paimta varža r_2, bus lygus

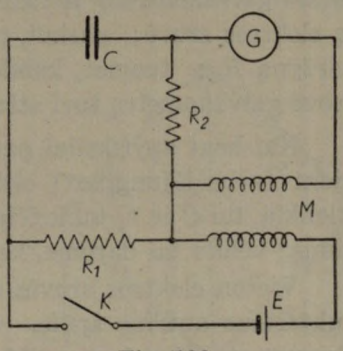

Fig. 136.

$$\frac{CIr_1}{t} \cdot r_2.$$

Miesto Savivaldybės Viešoji Kauno Kudirkos SKAITYKLA

Galvanometro grandinėje sujungtos špūlės M apvijose indukuojama elektros varomoji jėga. Kai špūlių tarpinė indukcija yra L, tai vidutinis indukuotos elektros varomosios jėgos dydis bus $L\frac{I}{t}$. Įjungiant (arba išjungiant) E grandinėje elektros srovę, galvanometras visiškai neatsilenks, kai potencialų skirtumas varžyno R_2 galuose ir indukuota elektros varomoji jėga bus lygūs ir turės priešingą kryptį, taigi, kai

$$\frac{CIr_1r_2}{t} = \frac{LI}{t},$$

arba

$$L = Cr_1r_2. \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

Galvanometro grandinėje bėga dvi elektros srovės. Vieną jų sąlygoja potencialų skirtumas varžyno R_2 galuose, antrą — indukuota elektros varomoji jėga antroje špūlėje M. Šios srovės bėga priešingomis kryptimis, kai jas sukelią potencialų skir-

tumai yra priešingų krypčių. Sujungus grandinę, reikia visuomet įsitikinti, kad taip yra. Tai taip padarome. Iš pradžių grandinėje atjungiame kondensatorių C ir stebime, kurion pusėn atlenkia galvanometrą indukuotos elektrovaromosios jėgos sukeltą elektros srovė; paskui, prijungę kondensatorių, atjungiame varžyną R_2; tuomet, kondensatoriui išsielektrinant, elektros srovė galvanometrą turi atlenkti į priešingą pusę.

Kai bent apytiksliai parenkame r_1, r_2 ir C taip, kad, įjungiant (arba išjungiant) elektros srovę, galvanometras nebeatsilenkia, tai C ir r_1 tol keičiame, kol pasiekiame didžiausią jautrumą; vėliau tai darome, keisdami r_1 ir r_2.

Vieton elektros srovės šaltinio galime įjungti nedidelio induktoriaus antrinę špūlę, o vieton galvanometro — telefoną. Tuomet stengiamės panaikinti garsą telefone.

Nustatę pusiausvyrą, gautus r_1, r_2 ir C įstatom į formulą (1) ir išskaičiuojame tarpinę indukciją L. Kai C išreiškiam faradais, r_1 ir r_2 — omais, tai L gauname henriais.

Kuomet M špūlės taip sudarytos, kad jų tarpinę indukciją galima išskaičiuoti, tai ją išskaičiuojame ir palyginame matuotąją indukciją su skaičiuota.

Įvertiname atskirų matavimų bei skaičiuoto rezultato klaidas. Pastaroji lygi:

$$\pm \Delta L = \pm L \left(\frac{\Delta r_1}{r_1} \text{ arba } \frac{\Delta r_2}{r_2} \text{ arba } \frac{\Delta C}{C} \right).$$

$\pm\Delta r_1$ (arba Δr_2 arba ΔC) taip įvertiname. Kai nustatome pusiausvyrą, keičiame r_1 (arba r_2 arba C) tiek, kad pusiausvyra susitrikdytų labai nedaug, bet jau būtų matoma, kad jos nebėra. Šis nedidelis r_1 pakeitimas ir duoda klaidą $\pm \Delta r_1$.

2. Savųjų indukcijų lyginimas

Kai turime žinomos indukcijos špūlę, tai bet kurios kitos špūlės savąją indukciją šiuo būdu surandame. Indukcijos špūles L_1 ir L_2 įjungiame į Wheatstone'o tiltelio šakas (fig. 137). Antras dvi šakas sudaro be indukcijos varžynai R_3 ir R_4. Kiti pažymėjimai reiškia: E — elektros srovės šaltinį, K — jungtuką, R — be indukcijos varžyną, G — galvanometrą.

Keisdami varžyno R varžą ir, jei galima, žinomosios špūlės savąją indukciją, o jei tas negalima, tai varžynų R_3 ir R_4 var-

žas, taip galime jas parinkti, kad, įjungus pastovią ir kintamą elektros srovę, tilteliu nebėgs elektros srovė ir galvanometras neatsilenks. Tegu tuomet varžynuose bus paimta tokios varžos: varžyne $R - r$, $R_3 - r_3$ ir $R_4 - r_4$; špūlių varžos ir indukcijos yra r_1, L_1 ir r_2, L_2.

Bėgant pastoviai elektros srovei, galvanometras neatsilenks, kai

$$\frac{r_1 + r}{r_2} = \frac{r_3}{r_4};$$

o bėgant kintamai elekros srovei, kai

$$\frac{r_3}{r_4} = \frac{\sqrt{(r_1 + r)^2 + \omega^2 L_1^2}}{\sqrt{r_2^2 + \omega^2 L_2^2}}.$$

Čia ω yra kintamos elektros srovės ciklinis dažnumas. Iš šių dviejų lygčių gauname:

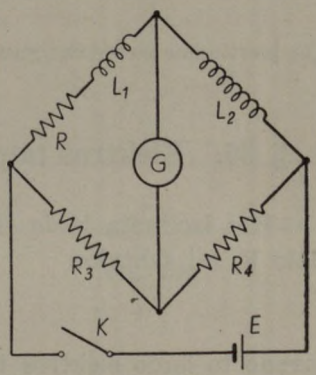

Fig. 137.

$$\frac{L_1}{L_2} = \frac{r_3}{r_4},$$

arba

$$L_1 = L_2 \frac{r_3}{r_4} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

Taip matuojame. Sujungę jau minėtoje figūroje nurodytą grandinę, tol keičiame varžynų varžas, kol parenkame tokias, kad tilteliu nebėgtų pastovi elektros srovė. Vėliau, jau keisdami tik L_1 (arba L_2), nustatome jį tokį, kad tilteliu nebėgtų ir kintama elektros srovė, pvz., kad elektros srovę išjungiant (arba įjungiant) galvanometras visiškai neatsilenktų. Kai tai padaryti nepavyksta, didiname arba mažiname r ir r_3, griežtai saugodami, kad ir prie kitų r ir r_3 varžų tilteliu nebėgtų pastovi srovė. Ir vėl, keisdami L_1 (arba L_2), bandome panaikinti tiltelyje kintamą elektros srovę.

Kai L_1 ir L_2 negalima keisti, tuomet keičiame r ir r_3, bet visą laiką sekame, kad santykis $r_3/(r_1+r)$ nepakitėtų.

Vieton pastovios elektros srovės šaltinio galime jungti kintamos srovės šaltinį — induktoriaus antrinę špūlę, o galvanometrą pakeisti telefonu. Tada parenkame minėtu būdu varžas, kad telefone nesigirdėtų garso.

Įstatę gautuosius davinius formulon (1), išskaičiuojame ieškomąją savąją indukciją L_1.

Įvertiname klaidą. Ji lygi:

$$\pm \Delta L_1 = \pm L_1 . \frac{\Delta L_2}{L_2}.$$

ΔL_2 įvertiname stebėdami pusiausvyros kitimą didinant arba mažinant L_2.

§ 56. Elektros talpos matavimas de Sauty būdu.

Kai izoliuotą laidą elektros kiekis Q įelektrina iki potencialo V, tai santykis

$$Q/V = C$$

parodo to laido elektros talpą. Jei elektrostatinis elektros kiekio vienetas įelektrina laidą iki elektrostatinio potencialo vieneto, tai tokio laido talpa lygi elektrostatiniam talpos vienetui. Tokią talpą turi tuštumoje esąs rutulėlis, kurio stipinas 1 cm. Praktiškas talpos vienetas — faradas (F); tai yra tokio laido talpa, kurį 1 kul įelektrina iki 1 V potencialo. 10^{-6} F = 1 μF (mikrofaradas). Talpos dimensija elektrostatinėje vienetų sistemoje yra

$$[C] = [\text{cm}],$$

todėl ir elektrostatinį talpos vienetą vadiname centimetru.

$$1\ \text{F} = \frac{1\ \text{kul}}{1\ \text{V}} = \frac{3 . 10^9}{1/300} = 9 . 10^{11}\ \text{cm}.$$

$$1\ \mu\text{F} = 10^{-6}\ \text{F} = 9 . 10^5\ \text{cm}.$$

Kintama elektros srovė prabėga pro kondensatorių. Jo varža R tokiai srovei pareina nuo jo talpos C ir elektros srovės dažnumo ν:

$$R = \frac{1}{2\pi\nu C}.$$

Taigi, išmatavę bet kurio kondensatoriaus varžą žinomo dažnumo kintamai elektros srovei, galime išskaičiuoti jo talpą. Daž-

nai, vieton matavę kondensatoriaus talpą, ją lyginame su žinoma talpa. De Sauty vartojo tokį būdą talpoms lyginti. Į Wheatstone'o tiltelio šakas (fig. 138) įjungiame lyginamus kondensatorius ir, paleidę kintamą elektros srovę, parenkam tokią talpą, kad tiltu nebėgtų elektros srovė. Jei žinomo ir matuojamo kondensatorių varžos kintamai elektros srovei yra atitinkamai R ir R_x, stumdomo kontakto vieta vieloje AB—D, tai tuomet nebėga tilteliu elektros srovė, kai

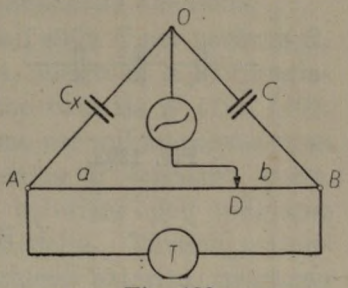

Fig. 138.

$$R_x : R = a : b,$$

kur $a = AD$, $b = DB$.

Tokiu būdu, $$\frac{1}{2\pi\nu C_x} : \frac{1}{2\pi\nu C} = a : b.$$

Iš čia $$C_x = C\frac{b}{a}.$$

Kondensatorių talpas taip lyginame. Sujungiame Wheatstone'o tiltelio grandinę, kaip nurodyta fig. 138. Kintamai elektros srovei gauti vartojame nedidelį induktorių, kurio antrines apvijas įjungiame į grandinę. Prie induktoriaus pirminių apvijų prijungiam elementą, varžyną ir jungtuką. Prie AB prijungiame telefoną T. Telefoną ir induktorių galime pamainyti vietomis.

Paleidę elektros srovę, tol stumdome kontaktą D, kol telefone nebesigirdi garso. Jei tai padaryti nepasiseka, tai didiname (arba mažiname) žinomo kondensatoriaus talpą C. Kada garsas telefone išnyksta (arba bent sumažėja), išmatuojame a ir b, atskaitome žinomo kondensatoriaus talpą C ir, įstatę gautuosius davinius į formulą, išskaičiuojam ieškomąjį C_x.

Taip išmatuojame dviejų arba trijų kondensatorių talpas. Paskui sujungiame juos nuosekliai ir lygiagrečiai (fig. 139 a ir b) ir kiekvieną kartą išmatuojam atstojamąją jų talpą. Išmatuotus rezultatus patikrinam. Jungiant nuosekliai kondensa-

torius, atstojamoji talpa C, kai jungiamieji kondensatoriai turi talpas C_1 ir C_2, lygi:

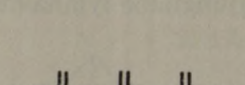

Fig. 139a.

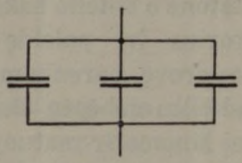

Fig. 139b.

$$C = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}},$$

o jungiant lygiagrečiai:

$$C = C_1 + C_2.$$

Vertindami matavimo klaidą, laikomės tokios tvarkos. Kai randam tokią vietą D, kada telefone garso nesigirdi, tai stumiam kontaktą į vieną ir antrą pusę, kol pasigirsta garsas. Atstumas Δa, per kiek reikia pastumti kontaktas D, yra atsitiktinė a ir b klaida. Tuomet C_x klaida

$$\pm \Delta C_x = \pm C_x \left(\frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta b}{b} \right).$$

§ 57. Elektroninis arba radijo vamzdelis

1. Diodas

Iš įkaitinto metalo paviršiaus tuštumoje (ir prie labai mažo slėgimo, kurį atsveria 10^{-4}—10^{-5} mm Hg) išlekia neigiamos elektros atomai—elektronai. Visai neveikiami toli nubėgti jie nepajėgia ir, apie kaitinamąjį paviršių susitelkę, sudaro lyg elektronų debesėlį, sukurdami neigiamą „erdvės krovinį". Šis trukdo tolesnį elektronų spinduliavimą (emisiją). Jo trukdomas veikimas pašalinamas, sudarant tarp kaitinamojo paviršiaus ir arti jo esančios kokios nors plokštelės—anodo elektrinį lauką, suteikiant minėtai plokštelei teigiamą potencialą. Tuomet išspinduliuoti elektronai, elektrinio lauko veikiami, lekia į teigiamo potencialo anodą. Taip yra sukonstruoti elektroniniai vamzdeliai. Iš elektros lemputės pavidalo stiklinio indelio L ištraukiamas oras ir įlydomas kaitinamasis siūlas K — katodas

pavidalas liekasi toks pat, bet tik ryškiai pasikeičia įsotintos anodinės srovės jėga. Stipriau kaitindami siūlą, gauname didesnės jėgos įsotintas anodines sroves, silpniau — mažesnės jėgos. Taigi, stipriau kaitinamas katodas emituoja daugiau elektronų, o silpniau kaitinamas — mažiau.

Išmatavę anodinės srovės jėgą I_A (amperais) ir anodinį potencialų skirtumą V_A (voltais), galime surasti elektroninio vamzdelio vidaus varžą R_v (omais). Pagal Ohm'o dėsnį $R = \frac{V}{I}$, taigi $R_v = \frac{V_A}{I_A}$. Bet figūra 141*) rodo, kad tatai galioja tik tai kreivės daliai, kur anodinės srovės jėga didėja tiesiai proporcingai anodiniam potencialų skirtumui. Todėl praktiškai R_v surandame grafiškai. Staigiojoje kreivės vietoje vamzdelio varža R_v bus lygi:

$$R_v = \frac{AC}{BC} = \frac{\Delta V_A}{\Delta I_A} = \operatorname{tg} \alpha$$

Anodinės srovės jėgos pareinamybę nuo anodinio potencialų skirtumo bei kaitinamosios srovės jėgos taip matuojame. Sujungiame grandinę, kaip rodo fig. 140. Jungiant elektroninį vamzdelį, reikia visuomet tinkamai sujungti polius. Neteisingai įjungus anodinės baterijos polius bei neįjungus varžos R, galima sugadinti vamzdelį.

Paimame tam tikros jėgos I_k kaitinimo srovę; keičiame anodo potencialų skirtumą V_A nuo O iki tol (iki 100—150 V, kiekvienam vamzdeliui kitokio), kol gauname įsotintą anodinę srovę, kas 5—10 V matuojame atitinkamų anodinių srovių jėgas I_A (amperais arba miliamperais). Paskui kaitinimo srovės jėgą I_k pakeičiame ir vėl matuojame I_A, imdami įvairius anodo potencialų skirtumus V_A. Visus davinius surašom į tokią lentelę:

Kaitinimo srovės jėga I_k mA	Anodo potencialų skirtumas V_A V	Anodinės srovės jėga I_A mA	Pastabos

Išbrėžiam kreives $I_A = f(V_A)$ įvairioms kaitinimo srovės jėgoms. Iš gautų kreivių surandame vamzdelio vidaus varžą R_v.

*) Figūroje BC turėtų būti pažymėta ΔI_A.

2. Triodas.

Dažniausiai vamzdelyje tarp kaitinamojo siūlo K ir anodo A būna įtaisytas tinklelis T. Turėdamas neigiamą potencialą, tinklelis sulaiko dalį, arba visus emituotus kaitinamojo siūlo elektronus, ir susilpnina, arba ir visai nutraukia, anodinę srovę; ir atvirkščiai, turėdamas teigiamą potencialą, sustiprina elektronų emisiją, taigi ir anodinės srovės jėgą. Ir maži tinklelio potencialo svyravimai sukelia palyginti didelius anodinės srovės jėgos pasikeitimus. Juos galime išmatuoti. Tinklelį

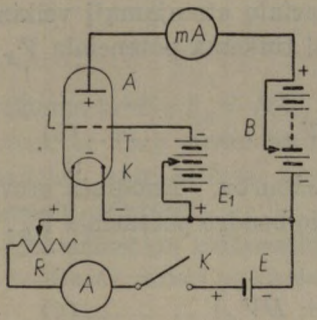

Fig. 142.

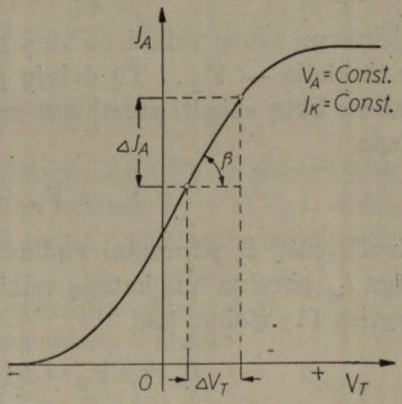

Fig. 143.

jungiame su teigiamu arba neigiamu atskiros tinklelio baterijos E_1 poliu (fig. 142). Antrą šios baterijos polį jungiame su kaitinimo baterijos neigiamu polium. Visą kitą sujungiam, kaip ir anksčiau. Palikdami pastovius kaitinimo srovės jėgą I_k ir anodinio potencialo skirtumą V_A, keičiam tinklelio potencialų skirtumą V_T ir matuojam anodinės srovės jėgos I_A kitimą.

Iš pradžių imame tokį neigiamą tinklelio potencialą, kuris sulaiko visus elektronus ir visai sustabdo anodinę srovę ($I_A = 0$), ir keičiam jį iki tokio teigiamo potencialo, kol gaunam įsotintą anodinę srovę. Davinius atvaizduojam grafiškai, išbrėždami kreivę $I_A = f(V_T)$. Vienoje stačiakampių koordinatų sistemos ašyje sužymime tinklelio potencialus V_T, antroje — atitinkamas anodinės srovės jėgas I_A ir tarp gautųjų taškų išvedam kreivę; ją vadiname vamzdelio *charakteristikos kreive* arba *charakteristika* (fig. 143). Tinklelio potencialo pakitimo

$\triangle V_T$ ir atitinkamos anodinės srovės jėgos pakitimo $\triangle I_A$ santykis rodo charakteristikos kreivės staigą S, kur

$$S = \frac{\triangle I_A}{\triangle V_T} = \text{tg } \beta. \quad \ldots\ldots (1)$$

Kai tinklelis įelektrintas, kaitinamojo siūlo elektronų emisijos srovė pasiskirsto į dvi dalis: dalis srovės bėga tinklelio grandine, dalis — anodo. Jei emisijos srovės, tinklelio ir anodo grandinių srovių jėgas pažymėti atitinkamai I_e, I_A ir I_T, tai

$$I_e = I_A + I_T \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

Elektronų srovę veikia ne vien tik anodo potencialas V_A, bet ir tinklelio — V_T. Tų dviejų potencialų atstojamąjį veikimą galima būtų sukelti suteikiant anodui tinkamą potencialą V_B. Tada

$$V_B = V_T + D V_A \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (3)$$

Koeficientą D paprastai vadiname *skvarba.* Anodinės srovės jėga I_A pareina nuo katodą veikiančio bendro potencialo V_B. Iš lygties (1) išeina, kad

$$I_A = SV_B = S(V_T + DV_A) \quad \ldots\ldots\ldots (4)$$

Kai tinklelio potencialas $V_T = 0$, tai anodinės srovės jėga

$$I_A = S \,.\, DV_A \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (5)$$

Vamzdelio vidaus varža $R_v = \frac{V_A}{I_A}$; taigi $V_A = R_v I_A$. Įstatę tai į pastarąją lygtį, gaunam:

$$S \,.\, D \,.\, R_v = 1 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (6)$$

Ši lygtis parodo, kaip tarp savęs yra susiję charakteringi elektroninio vamzdelio dydžiai: staiga S, skvarba D ir vidaus varža R_v. Vamzdelio vidaus varžą $R_v = \frac{\triangle V_A}{\triangle I_A}$ surandame iš diodo kreivės, staigą $S = \frac{\triangle I_A}{\triangle V_T}$ — iš triodo kreivės; įstatę gautas S ir R_v vertes į lygtį (6), išskaičiuojam skvarbą D, kur

$$D = \frac{1}{S R_v}.$$

Anodinės srovės jėgos kitimus, keičiant tinklelio potencialą V_T, taip surandame. Sujungiame fig. 142 duotą grandinę, nustatom pastovią kaitinimo srovę I_k ir pastovų anodo potencialą V^A. Tinkleliui suteikiame tokį neigiamą potencialą, kad anodinė srovė visai nebėgtų, ir pamažu jį keičiame kas 2—5 V iki tokio teigiamo potencialo, kol pasidarys įsotinta anodinė srovė. Visus davinius surašome į šią lentelę:

Kaitinimo srovės jėga I_k mA	Anodo potencialų skirtumas V_A V	Tinklelio potencialų skirtumas V_T V	Anodinės srovės jėga I_A mA

Išbrėžiame kreivę $I_A = f(V_T)$. Paimam naują V_A ir pakartojam matavimus. Taip surandame kelias kreivės $I_A = f(V_T)$, vaizduojančias, kaip keičiasi anodinė srovė, keičiantis anodiniam potencialų skirtumui.

Išskaičiuojam elektroninio vamzdelio skvarbą D.

Įvertiname matavimų klaidas. Išskaičiuoto D klaida:

$$\pm \Delta D = \pm D \left(\frac{\Delta S}{S} + \frac{\Delta R_v}{R_v} \right).$$

Lentelė 1. Svėrimo pataisos

Sveriant ore (tankis = 0,0012 g/cm³) su žalvariniais svareliais (tankis = 8,4 g/cm³) gautojo davinio pataisa.

Kai bet kuris tankio D kūnas ore sveria m g, tai tuštumoje jis svers mk mg daugiau; čia

$$k = 1{,}20 \left(\frac{1}{D} - \frac{1}{8{,}4} \right).$$

D	k	D	k	D	k
0,7	+1,57	2,0	+0,46	8	+0,01
0,8	1,36	2,5	0,34	9	—0,01
0,9	1,19	3,0	0,26	10	—0,02
1,0	1,06	3,5	0,20	12	—0,04
1,2	0,86	4,0	0,16	14	—0,06
1,4	0,71	5,0	0,10	16	—0,07
1,6	0,61	6,0	0,06	18	—0,08
1,8	0,52	7,0	0,03	20	—0,08

Lentelė 2. Tankis ir lyginamasis svoris

Tankis išreikštas g/cm³.

Kieti kūnai	
Alavas	7,3
aliuminis	2,7
auksas	19,3
bismutas	9,8
cinkas	7,1
cukrus ($C_{12}H_{22}O_{11}$)	1,59
druska (NaCl)	2,15
geležis	7,8
kalis	0,86
kamštis	0,16—0,2
kietas kaučukas	1,2
kietas anglies	
dvideginis (CO_2)	1,53
kvarcas	2,65
ledas	0,917
magnis	1,7
medis:	
ąžuolo	0,7
eglės	0,5
natris	0,97
nikelis	8,8
platina	21,4
sidabras	10,5
siera	2,0
stiklas	2,4—2,6
„ flint.	3,0—5,9
švinas	11,3
varis	8,9
žalvaris	8,1—8,6
vaškas	0,96

Skysti kūnai	
Alkoholis (C_2H_6O)	0,791
benzolis (C_6H_6)	0,881
eteris ($C_4H_{10}O$)	0,717
gyvasis sidabras 18°C	13,551
„ „ 0°C	13,596
glicerinas ($C_3H_8O_3$)	1,26
terpentinas	0,87
žibalas	0,8
skystas azotas	0,79
„ chloras	1,51
„ deguonis	1,13
„ helis	0,15
„ vandenilis	0,06

Dujos:	
Azotas	0,0012507
deguonis	0,0014292
vandenilis	0,00008987
oras	0,0012928
CO_2	0,0019768
sočių vandens garų prie 1 atm. slėgimo ir 100°C	0.0006059

Lentelė 3. Įvairių temperatūrų vandens tankis ir lyginamasis svoris

4°C vandens atžvilgiu.

t^0	Lyginamasis svoris	t^0	Lyginamasis svoris	t^0	Lyginamasis svoris
0	0,99987	12	0,99952	24	0,99732
1	0,99993	13	40	25	707
2	7	14	27	26	681
3	9	15	13	27	654
4	1,00000	16	897	28	626
5	0,99999	17	880	29	597
6	7	18	862	30	567
7	3	19	843	31	537
8	88	20	823	32	505
9	81	21	802	33	472
10	73	22	780	34	440
11	63	23	757	35	406

Lentelė 4. Elastingumo konstantos

	Elastingumo modulis kg/mm²	Elastingumo riba kg/mm²	Garso greitis m/sek.	Sukamasis modulis kg/mm²
Aliuminis	6300—7200	—	5000	2500
auksas	7600—8100	—	2100	2800
geležis	20000—22000	32	5100	7600
platina	16000—17500	26	2800	6500
plienas	20000—22000	50	5100	8100
sidabras	7000—8000	11	2700	2700
stiklas	5000—8000	—	5000	2600
švinas	1500—1700	0,25	1300	550
varis	10000—13000	12	3600	4400
žalvaris	8000—10000	—	3200	3200

Lentelė 5. Kapiliarinė konstanta

(mg/mm) prie 18°C.

Vanduo	7,7	glicerinas	6,6	gyvasis sidabras	50
alkoholis	2,0	žibalas	3,0	skyst. oras —190°C	1,3
eteris	1,7	terpentinas	2,7	„ O —183°C	1,3
benzolis	3,0	H_2SO_4 10%	7,7	„ N —195°C	0,85

Lentelė 6. Barometro aukščio pataisa, perskaičiuojant jį 0° C temperatūrai

Iš atskaityto barometro aukščio, kai kambario temperatūra $t^0 > 0^0$C, reikia atimti $(0{,}000182 - \beta)ht$ dydį. Žalvarinės skalos skėtimosi koeficientas $\beta = 0{,}000019$.

t^0	Atskaitytas barometro aukštis mm				
	730	740	750	760	770
	mm	mm	mm	mm	mm
10°	1,19	1,21	1,22	1,24	1,26
11	1,31	1,33	1,34	1,36	1,38
12	1,43	1,45	1,47	1,49	1,51
13	1,55	1,57	1,59	1,61	1,63
14	1,67	1,69	1,71	1,73	1,76
15	1,78	1,81	1,83	1,86	1,88
16	1,90	1,93	1,96	1,98	2,01
17	2,02	2,05	2,08	2,11	2,13
18	2,14	2,17	2,20	2,23	2,26
19	2,26	2,29	2,32	2,35	2,38
20	2,38	2,41	2,45	2,48	2,51
21	2,50	2,53	2,57	2,60	2,64
22	2,62	2,65	2,69	2,73	2,76
23	2,74	2,77	2,81	2,85	2,89
24	2,86	2,89	2,93	2,97	3,01
25	2,97	3,02	3,06	3,10	3,14

Lentelė 7. Gyvojo sidabro kapiliarinė depresija

milimetrais.

Barometro vamzdelio diametras mm	Menisko aukštis mm							
	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8
7	0,34	0,49	0,64	0,76	0,87	0,96	1,04	1,10
8	0,24	0,35	0,46	0,56	0,64	0,71	0,77	0,82
9	0,18	0,26	0,34	0,41	0,47	0,53	0,58	0,62
10	0,13	0,19	0,25	0,30	0,35	0,40	0,44	0,47
11	0,10	0,14	0,19	0,23	0,27	0,30	0,33	0,36
12	0,07	0,11	0,14	0,18	0,20	0,23	0,25	0,27
13	0,06	0,09	0,11	0,14	0,16	0,18	0,20	0,21
14	0,04	0,06	0,08	0,10	0,12	0,14	0,15	0,16

Lentelė 8. Barometro aukščio pataisa, perskaičiuojant jį jūrų paviršiaus lygiui

$\Delta h = kh$, kur h barometro aukštis, išreikštas milimetrais, Δh — jo pataisa, k — konstanta, surandama iš žemiau duotos lentelės.

Šios k vertės tinka ir kai oro slėgimas išreiškiamas milibarais.

Aukštis nuo jūrų paviršiaus metrais	Oro temperatūra °C (vidurkiais)							
	—30	—20	—10	0	+10	+20	+30	+40
20	0,0028	0,0027	0,0026	0,0025	0,0024	0,0023	0,0023	0,0022
40	0,0056	0,0054	0,0052	0,0050	0,0048	0,0047	0,0045	0,0044
60	0,0085	0,0081	0,0079	0,0076	0,0073	0,0070	0,0068	0,0066
80	0,0113	0,0109	0,0105	0,0101	0,0097	0,0094	0,0090	0,0087
100	0,0141	0,0136	0,0131	0,0126	0,0121	0,0117	0,0113	0,0109
120	0,0170	0,0164	0,0158	0,0152	0,0146	0,0141	0,0136	0,0131
140	0,0199	0,0191	0,0184	0,0177	0,0170	0,0165	0,0159	0,0154

Lentelė 9. Barometro aukščio pataisa, perskaičiuojant jį geografiniam platumui $\varphi = 45°$

Geografinis platumas φ	Barometro aukštis prie 0°C						Geografinis platumas φ
	730	740	750	760	770	780	
0°	1,9	1,9	1,9	2,0	2,0	2,0	90°
5°	1,8	1,9	1,9	1,9	2,0	2,0	85°
10°	1,8	1,8	1,8	1,9	1,9	1,9	80°
15°	1,6	1,7	1,7	1,7	1,7	1,8	75°
20°	1,4	1,5	1,5	1,5	1,5	1,6	70°
25°	1,2	1,2	1,3	1,3	1,3	1,3	65°
30°	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	60°
35°	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	55°
40°	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	50°
45°	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	45°

Lentelė 10. Vandens virimo temperatūra įvairiems barometro aukščiams

Barom. aukštis mm	Dešimtosios milimetro dalys									
	,0	,1	,2	,3	,4	,5	,6	,7	,8	,9
730	98,877	880	884	888	892	896	899	903	907	911
731	915	918	922	926	930	934	937	941	945	949
732	953	956	960	964	968	972	975	979	983	987
733	991	994	998	*002	*006	*010	*013	*017	*021	*025
734	99,028	032	036	040	044	048	051	055	059	063
735	067	070	074	078	082	085	089	093	097	101
736	104	108	112	116	119	123	127	131	135	138
737	142	146	150	153	157	161	165	169	172	176
738	180	184	187	191	195	199	203	206	210	214
739	218	221	225	229	233	236	240	244	248	252
740	99,255	259	263	267	270	274	278	282	285	289
741	293	297	300	304	308	312	316	319	323	327
742	331	334	338	342	346	349	353	357	361	364
743	368	372	376	379	383	387	391	394	398	402
744	406	409	413	417	421	424	428	432	436	439
745	443	447	451	454	458	462	466	469	473	477
746	481	484	488	492	495	499	503	507	510	514
747	518	522	525	529	533	537	540	544	548	551
748	555	559	563	566	570	574	578	581	585	589
749	592	596	600	604	607	611	615	619	622	626

Barom. aukštis mm	Dešimtosios milimetro dalys									
	,0	,1	,2	,3	,4	,5	,6	,7	,8	,9
750	99,630	633	637	641	645	648	652	656	659	663
751	667	671	674	678	682	686	689	693	697	700
752	704	708	712	715	719	723	726	730	734	738
753	741	745	749	752	756	760	764	767	771	775
754	778	782	786	790	793	797	801	804	808	812
755	815	819	823	827	830	834	838	841	845	849
756	852	856	860	863	867	871	875	878	882	886
757	889	893	897	900	904	908	911	915	919	923
758	926	930	934	937	941	945	948	952	956	959
759	963	967	970	974	978	982	985	989	993	996
760	100,000	004	007	011	015	018	022	026	029	033
761	037	040	044	048	052	055	059	063	066	070
762	074	077	081	085	088	092	096	099	103	107
763	110	114	118	121	125	129	132	136	140	143
764	147	151	154	158	162	165	169	173	176	180
765	184	187	191	195	198	202	206	209	213	216
766	220	224	227	231	235	238	242	246	249	253
767	257	260	264	268	271	275	279	283	286	290
768	293	297	300	304	308	311	315	319	322	326
769	330	333	337	341	344	348	352	355	359	363
770	100,366	370	373	377	381	384	388	392	395	399
771	403	406	410	414	417	421	424	428	432	435
772	439	442	446	450	453	457	461	464	468	472
773	475	479	483	486	490	493	497	501	504	508
774	511	515	519	522	526	530	533	537	540	544

Lentelė 11. Šiliminės kietų kūnų konstantos

	Linijinis skėtimosi koef. 18°C	Specifinė šilima kal/g laip	Skystėjimo temperatūra °C	Slaptoji skystėjimo šilima kal/g	Šiliminė laida kal cm sek laip
Aliuminis	0,0000238	0,214	658	94	0,48
alavas	230	0,054	231,8	14	0,15
auksas	144	0,031	1064	15,9	0,70
bismutas	134	0,029	271	10,2	0,019
cinkas	230	0,091	419,4	23	0,27
geležis	112	0,111	1100—1600	49	0,14—0,17
kadmis	286	0,055	320,9	10,8	0,22
kietas kaučukas	800	—	—	—	0,0004
magnis	250	0,250	651	—	0,38
nikelis	131	0,106	1450	65	0,14
platina	088	0,032	1760	27	0,17
plienas	100	0,114	1300—1400	—	0,06—0,12
sidabras	185	0,055	961	21	1,01
siera	600	0,16—0,24	119	10	0,0007
stiklas	080	0,190	800—1400	—	0,0023
švinas	288	0,031	327,4	5	0,08
tantalas	079	0,036	2900	—	—
varis	165	0,091	1084	41	0,90
volframas	043	0,033	3400	—	—
žalvaris	180	0,093	apie 900	—	0,15—0,30

Lentelė 12. Šiliminės skystų kūnų konstantos

	Tūrio sklėtimosi koeficientas	Specifinė šilima 18° C kal/g laip.	Skystėjimo temperatūra °C	Virimo temperatūra °C	Slaptoji garavimo šilima kal/g	Slaptoji skystėjimo šilima kal/g
Alkoholis (C_2H_6O)	0,00110	0,58	— 114	78,3	202	—
benzolis (C_6H_6)	0,00124	0,41	+ 5,5	80,2	94	30,4
eteris ($C_4H_{10}O$)	0,00163	0,56	— 116,3	34,5	90	27
gyvasis sidabras	0,000181	0,0333	— 38,9	356,7	68	2,8
glicerinas ($C_3H_8O_3$)	0,00050	0,58	— 20	290	—	42
skystas azotas	—	—	— 210,5	— 195,7	48	—
„ deguonis	—	—	— 218	— 183,0	51	—
„ vandenilis	—	—	— 259	— 252,8	110	—
„ helis	—	—	— 272	— 268,8	—	—
terpentinas ($C_{10}H_{16}$)	0,00094	0,42	—	161	70	—
vanduo (18°C)	0,00018	0,999	0	100	539	79,7
žibalas	0,00092	0,51	—	110—120	75	

Lentelė 13. Dujų bei garų specifinė šilima C_p ir $k = \frac{C_p}{C_v}$

	C_p prie 18° C	$k = \frac{C_p}{C_v}$
Argonas	0,127	1,65
azotas	0,249	1,40
deguonis	0,218	1,40
helis	1,26	1,66
oras	0,241	1,40
Vandenilis	3,410	1,41
anglies dvideginis (CO_2)	0,202	1,30
alkoholis (C_2H_6O)	0,4534	1,15
eteris ($C_4H_{10}O$)	0,4280	1,09
vandens garai (H_2O)	0,3787	1,28

Lentelė 14. Higrometrinė lentelė

Prisotintieji vandens garai. p — atsveriąs garų slėgimą gyvojo sidabro stulpelio aukštis mm, f — garų masė 1 m^3, išreikšta gramais

t^0C	p mm	f g/m^3	t^0C	p mm	f g/m^3	t^0C	p mm	f g/m^3	t^0C	p mm	f g/m^3
— 10	2,0	2,2	0	4,6	4,8	10	9,2	9,4	20	17,4	17,2
— 9	2,1	2,3	+1	4,9	5,2	11	9,8	10,0	21	18,5	18,2
— 8	2,3	2,6	2	5,3	5,6	12	10,5	10,7	22	19,7	19,3
— 7	2,5	2,8	3	5,7	6,0	13	11,2	11,4	23	20,9	20,4
— 6	2,8	3,0	4	6,1	6,4	14	11,9	12,0	24	22,2	21,6
— 5	3,0	3,3	5	6,5	6,8	15	12,7	12,8	25	23,5	22,9
— 4	3,3	3,5	6	7,0	7,3	16	13,6	13,6	26	25,0	24,2
— 3	3,6	3,8	7	7,5	7,8	17	14,5	14,4	27	26,5	25,6
— 2	3,9	4,2	8	8,0	8,3	18	15,4	15,3	28	28,1	27,0
— 1	4,2	4,5	9	8,6	8,8	19	16,4	16,2	29	29,8	28,5
0	4,6	4,8	10	9,2	9,4	20	17,4	17,2	30	31,6	30,1

Lentelė 15. Kai kurių medžiagų lyginamieji šviesos lūžio rodikliai

Temperatūra 18°C

Bangos ilgis μ	0,760	,687	,6563	,5893	,5270	,4861	,4341	,4308	,3968
Vanduo	1,3292	,3306	,3314	,3332	,3354	,3373	,3406	,3408	,3437
Alkoholis	1,3587	,3600	,3609	,3625	,3646	,3665	,3703	,3705	,3736
Kron- { lengvasis	1,5099	,5118	,5127	,5153	,5186	,5214	,5264	,5267	,5312
stiklas { sunkusis	1,6097	,6117	,6126	,6152	,6185	,6213	,6262	,6265	,6308
Flint- { lengvasis	1,5986	,6020	,6038	,6085	,6145	,6200	,6302	,6308	,6404
stiklas { sunkusis	1,7351	,7406	,7434	,7515	,7623	,7723	,7910	,7922	,811
Islandijos { ekstr.	1,4827	,4840	,4846	,4864	,4887	,4908	,4943	,4946	,4978
špatas { ord.	1,6500	,6530	,6545	,6585	,6635	,6679	,6755	,6762	,6833
Kvarco sukimo galia; storis 1 mm	12,7°	15,7°	17,3°	21,71°	27,5°	32,7°	42,0°	42,6°	51,2°

Lentelė 16. Šviesos bangų ilgiai

milimikronais ($m\mu$) 20°C temperatūros ore, kai barometro aukštis 760 mm Hg; helio (He), vandenilio (H), gyvojo sidabro (Hg), kadmio (Cd), ličio (Li), natrio (Na).

He	706,5	raudona	H	656,3	raudona	Hg	615,2 raudona
	667,8	„		486,1	mėlyna		579,1 geltona
	587,6	geltona		434,1	violetinė		577,0 „
	501,6	žalia		410,2	„		546,1 žalia
	492,2	mėlyna		396,8	„		491,6 mėlyna
	471,3	„					435,8 „
	447,2	violetinė	Cd	643,9	raudona		434,8 „
				508,6	žalia		407,8 violetinė
				480,0	mėlyna		404,7 „
Li	670,8	raudona					390,2 „
	610,4	geltona	Na	589,6	geltona		
				589,0	geltona		

Lentelė 17. Specifinė metalų varža

Prie temperatūros 18°C 1 cm^3 varža = ϱ Ω, 1 m ilgio ir 1 mm^2 skersinio piūvio ploto vielos varža = 10.000 ϱ Ω. $\Delta\varrho$ varžos padidėjimas, pakilus temperatūrai 1°C. Tiksliai tinka gryniems metalams.

	$10^4\varrho$	$10^3\Delta\varrho$		$10^4\varrho$	$10^3\Delta\varrho$
sidabras	0,016	+4,0	tantalas	0,15	+3,3
varis	0,017	4,0	švinas	0,21	4,0
auksas	0,023	4,0	stibis	0,45	4,1
aliuminis	0,032	3,6	bismutas	1,2	4,2
cinkas	0,061	3,7	gyv. sidabras	0,958	+0,92
žalvaris	0,07—0,09	—			
osmis	0,10	4	konstantanas	0,49	—0,03 iki +0,05
platina gryna	0,108	3,9	manganinas	0,42	„ +0,03
„ perkama	0,14	2 iki 3	naujas. sidabras	0,16 iki 0,40	+0,6 „ +0,23
nikelis	0,08 iki 0,11	„ 6	nikelinas	0,42	+0,23
geležis	0,09 „ 0,15	„ 6	patent - nikelis	0,33	+0,2
plienas	0,15 „ 0,4	—			

Lentelė 18. Elektrinė tirpalų laida

(Temperatūra 18°C).

λ — specifinė tirpalo laida, $^1/\lambda$ — specifinė jo varža (1 cm^3 varža); $\Delta\lambda$ — vidutinis laidos padidėjimas, pakilus temperatūrai 1°C (tarp 18 ir 25°C) šimtinėmis λ_{18} dalimis. Koncentracija duodama svorio procentais.

%	KCl		Na Cl		HCl		$AgNO_3$		$CuSO_4$		H_2SO_4		$ZnSO_4$		Na OH		KOH	
	λ	$\Delta\lambda$	λ	$\Delta\lambda$	λ	$\Delta\lambda$	λ	$\Delta\lambda$	λ	$\Delta\lambda$	λ	$\Delta\lambda$	λ	$\Delta\lambda$	λ	$\Delta\lambda$	λ	$\Delta\lambda$
5	0,069	2,0	0,067	2,2	0,395	1,58	0,0256	2,2	0,0189	2,2	0,209	1,21	0,0191	2,2	0,195	2,0	0,172	1,9
10	,136	1,9	,121	2,1	,630	1,56	,0476	2,2	,0320	2,2	,392	1,28	,0321	2,2	,309	2,2	,315	1,9
15	,202	1,8	,164	2,1	,745	1,55	,068	2,2	,0421	2,3	,543	1,36	,0415	2,3	,349	2,5	,425	1,9
20	,268	1,7	,196	2,2	,762	1,54	,087	2,1			,653	1,45	,047	2,4	,328	3,0	,499	2,0
25			,214	2,3	,723	1,53	,106	2,1			,717	1,54	,048	2,6	,272	3,7	,540	1,1
30					,662	1,52	,124	2,1			,740	1,62	,044	2,7	,207	4,5	,542	2,3
35					,591	1,51	,141	2,1			,724	1,70			,156	5,5	,509	2,4
40					,515	—	,157	2,1			,680	1,78			,121	6,5	,450	2,7

Lentelė 19. Elektrocheminiai ekvivalentai

1 A jėgos srovė išskiria iš elektrolito miligramų:

	Sidabro	vario	gyvojo sidabro	nikelio
per 1 sek.	1,118	0,3294	1,040	0,3050
1 min.	67,08	19,76	62,40	18,30
1 val.	4025	1186	3744	1098

Lentelė 20. Wheatstone'o

santykių a/b vertės

a	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900
0	0,0000	0,1111	0,2500	0,4286	0,6667	1,0000	1,500	2,333	4,000	9,00
1	,0010	,1123	,2516	,4306	,6694	1,0040	1,506	2,344	4,025	9,10
2	,0020	,1136	,2531	,4327	,6722	1,0080	1,513	2,356	4,051	9,20
3	,0030	,1148	,2547	,4347	,6750	1,0121	1,519	2,367	4,076	9,31
4	,0040	,1161	,2563	,4368	,6779	1,0161	1,525	2,378	4,102	9,42
5	,0050	,1173	,2579	,4388	,6807	1,0202	1,532	2,390	4,128	9,53
6	,0060	,1186	,2594	,4409	,6835	1,0243	1,538	2,401	4,155	9,64
7	,0070	,1198	,2610	,4430	,6863	1,0284	1,545	2,413	4,181	9,75
8	,0081	,1211	,2626	,4451	,6892	1,0325	1,551	2,425	4,208	9,87
9	,0091	,1223	,2642	,4472	,6921	1,0367	1,558	2,436	4,236	9,99
10	,0101	,1236	,2658	,4493	,6949	1,0408	1,564	2,448	4,263	10,11
11	,0111	,1249	,2674	,4514	,6978	1,0450	1,571	2,460	4,291	10,24
12	,0121	,1261	,2690	,4535	,7007	1,0492	1,577	2,472	4,319	10,36
13	,0132	,1274	,2706	,4556	,7036	1,0534	1,584	2,484	4,348	10,49
14	,0142	,1287	,2723	,4577	,7065	1,0576	1,591	2,497	4,376	10,63
15	,0152	,1299	,2739	,4599	,7094	1,0619	1,597	2,509	4,405	10,76
16	,0163	,1312	,2755	,4620	,7123	1,0661	1,604	2,521	4,435	10,90
17	,0173	,1325	,2771	,4641	,7153	1,0704	1,611	2,534	4,464	11,05
18	,0183	,1338	,2788	,4663	,7182	1,0747	1,618	2,546	4,495	11,20
19	,0194	,1351	,2804	,4684	,7212	1,0790	1,625	2,559	4,525	11,35
20	,0204	,1364	,2820	,4706	,7241	1,0833	1,632	2,571	4,556	11,50
21	,0215	,1377	,2837	,4728	,7271	1,0877	1,639	2,584	4,587	11,66
22	,0225	,1390	,2853	,4749	,7301	1,0921	1,646	2,597	4,618	11,82
23	,0235	,1403	,2870	,4771	,7331	1,0964	1,653	2,610	4,650	11,99
24	,0246	,1416	,2887	,4793	,7361	1,1008	1,660	2,623	4,682	12,16
25	,0256	,1429	,2903	,4815	,7391	1,1053	1,667	2,636	4,714	12,33
26	,0267	,1442	,2920	,4837	,7422	1,1097	1,674	2,650	4,747	12,51
27	,0277	,1455	,2937	,4859	,7452	1,1142	1,681	2,663	4,780	12,70
28	,0288	,1468	,2953	,4881	,7483	1,1186	1,688	2,676	4,814	12,89
29	,0299	,1481	,2970	,4903	,7513	1,1231	1,695	2,690	4,848	13,08
30	,0309	,1494	,2987	,4925	,7544	1,1277	1,703	2,704	4,882	13,29
31	,0320	,1507	,3004	,4948	,7575	1,1322	1,710	2,717	4,917	13,49
32	,0331	,1521	,3021	,4970	,7606	1,1368	1,717	2,731	4,952	13,71
33	,0341	,1534	,3038	,4993	,7637	1,1413	1,725	2,745	4,988	13,93
34	,0352	,1547	,3055	,5015	,7668	1,1459	1,732	2,759	5,024	14,15
35	,0363	,1561	,3072	,5038	,7699	1,1505	1,740	2,774	5,061	14,38
36	,0373	,1574	,3089	,5060	,7731	1,1552	1,747	2,788	5,098	14,63
37	,0384	,1587	,3106	,5083	,7762	1,1598	1,755	2,802	5,135	14,87
38	,0395	,1601	,3123	,5106	,7794	1,1645	1,762	2,817	5,173	15,13
39	,0406	,1614	,3141	,5129	,7825	1,1692	1,770	2,831	5,211	15,39
40	,0417	,1628	,3158	,5152	,7857	1,1739	1,778	2,846	5,250	15,67
41	,0428	,1641	,3175	,5175	,7889	1,1786	1,786	2,861	5,289	15,95
42	,0438	,1655	,3193	,5198	,7921	1,1834	1,793	2 876	5,329	16,24
43	,0449	,1669	,3210	,5221	,7953	1,1882	1,801	2,891	5,369	16,54
44	,0460	,1682	,3228	,5244	,7986	1,1930	1,809	2,906	5,410	16,86
45	,0471	,1696	,3245	,5267	,8018	1,1978	1,817	2,922	5,452	17,18
46	,0482	,1710	,3263	,5291	,8051	1,2026	1,825	2,937	5,494	17,52
47	,0493	,1723	,3280	,5314	,8083	1,2075	1,833	2,953	5,536	17,87
48	,0504	,1737	,3298	,5337	,8116	1,2124	1,841	2,968	5,579	18,23
49	,0515	,1751	,3316	,5361	,8149	1,2173	1,849	2,984	5,623	18,61
50	0,0526	0,1765	0,3333	0,5385	0,8182	1,2222	1,857	3,000	5,667	19,00

tilteliui

kai $a + b = 1.000$.

a	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900
50	0,0526	0,1765	0,3333	0,5385	0,8182	1,2222	1,857	3,000	5,667	19,00
51	,0537	,1779	,3351	,5408	,8215	1,2272	1,865	3,016	5,711	19,41
52	,0549	,1792	,3369	,5432	,8248	1,2321	1,874	3,032	5,757	19,83
53	,0560	,1806	,3387	,5456	,8282	1,2371	1,882	3,049	5,803	20,28
54	,0571	,1820	,3405	,5480	,8315	1,2422	1,890	3,065	5,849	20,74
55	,0582	,1834	,3423	,5504	,8349	1,2472	1,899	3,082	5,897	21,22
56	,0593	,1848	,3441	,5528	,8382	1,2523	1,907	3,098	5,944	21,73
57	,0604	,1862	,3459	,5552	,8416	1,2573	1,915	3,115	5,993	22,26
58	,0616	,1876	,3477	,5576	,8450	1,2624	1,924	3,132	6,042	22,81
59	,0627	,1891	,3495	,5601	,8484	1,2676	1,933	3 149	6,092	23,39
60	,0638	,1905	,3514	,5625	,8519	1,2727	1,941	3,167	6,143	24,00
61	,0650	,1919	,3532	,5649	,8553	1,2779	1,950	3,184	6,194	24,64
62	,0661	,1933	,3550	,5674	,8587	1,2831	1,959	3,202	6,246	25,32
63	,0672	,1947	,3569	,5699	,8622	1,2883	1,967	3,219	6,299	26,03
64	,0684	,1962	,3587	,5723	,8657	1,2936	1,976	3,237	6,353	26,78
65	,0695	,1976	,3605	,5748	,8692	1,2989	1,985	3,255	6,407	27,57
66	,0707	,1990	,3624	,5773	,8727	1,3041	1,994	3,274	6,463	28,41
67	,0718	,2005	,3643	,5798	,8762	1,3095	2,003	3,292	6,519	29,30
68	,0730	,2019	,3661	,5823	,8797	1,3148	2,012	3,310	6,576	30,25
69	,0741	,2034	,3680	,5848	,8832	1,3202	2,021	3,329	6,634	31,26
70	,0753	,2048	,3699	,5873	,8868	1,3256	2,030	3,348	6,692	32,33
71	,0764	,2063	,3717	,5898	,8904	1,3310	2,040	3,367	6,752	33,48
72	,0776	,2077	,3736	,5924	,8939	1,3364	2,049	3,386	6,813	34,71
73	,0787	,2092	,3755	,5949	,8975	1,3419	2,058	3,405	6,874	36,04
74	,0799	,2107	,3774	,5974	,9011	1,3474	2,067	3,425	6,937	37,46
75	,0811	,2121	,3793	,6000	,9048	1,3529	2,077	3,444	7,000	39,00
76	,0823	,2136	,3812	,6026	,9084	1,3585	2,086	3,464	7,065	40,67
77	,0834	,2151	,3831	,6051	,9120	1,3641	2,096	3,484	7,130	42,48
78	,0846	,2165	,3850	,6077	,9157	1,3697	2,106	3,505	7,197	44,45
79	,0858	,2180	,3870	,6103	,9194	1,3753	2,115	3,525	7,264	46,62
80	,0870	,2195	,3889	,6129	,9231	1,3810	2,125	3,545	7,333	49,00
81	,0881	,2210	,3908	,6155	,9268	1,3866	2,135	3,566	7,403	51,63
82	,0893	,2225	,3928	,6181	,9305	1,3923	2,145	3,587	7,475	54,56
83	,0905	,2240	,3947	,6207	,9342	1,3981	2,155	3,608	7,547	57,82
84	,0917	,2255	,3966	,6234	,9380	1,4038	2,165	3,630	7,621	61,50
85	,0929	,2270	,3986	,6260	,9417	1,4096	2,175	3,651	7,696	65,67
86	,0941	,2285	,4006	,6287	,9455	1,4155	2,185	3,673	7,772	70,43
87	,0953	,2300	,4025	,6313	,9493	1,4213	2,195	3,695	7,850	75,92
88	,0965	,2315	,4045	,6340	,9531	1,4272	2,205	3,717	7,929	82,33
89	,0977	,2330	,4065	,6367	,9569	1,4331	2,215	3,739	8,009	89,91
90	,0989	,2346	,4085	,6393	,9608	1,4390	2,226	3,762	8,091	99,00
91	,1001	,2361	,4104	,6420	,9646	1,4450	2,236	3,785	8,174	110,1
92	,1013	,2376	,4124	,6447	,9685	1,4510	2,247	3,808	8,259	124,0
93	,1025	,2392	,4144	,6474	,9724	1,4570	2,257	3,831	8,346	141,9
94	,1038	,2407	,4164	,6502	,9763	1,4631	2,268	3,854	8,434	165,7
95	,1050	,2422	,4184	,6529	,9802	1,4691	2,279	3,878	8,524	199,0
96	,1062	,2438	,4205	,6556	,9841	1,4752	2,289	3,905	8,615	249,0
97	,1074	,2453	,4225	,6584	,9881	1,4814	2,300	3,926	8,709	332,3
98	,1086	,2469	,4245	,6611	,9920	1,4876	2,311	3,950	8,804	499,0
99	,1099	,2484	,4265	,6639	,9960	1,4938	2,322	3,975	8,901	999,0
100	0,1111	0,2500	0,4286	0,6667	1,0000	1,5000	2,333	4,000	9,000	∞

Lentelė 21. Logaritmai.

N.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Diff.
10	0000	0043	0086	0128	0170	0212	0253	0294	0334	0374	42
11	0414	0453	0492	0531	0569	0607	0645	0682	0719	0755	38
12	0792	0828	0864	0899	0934	0969	1004	1038	1072	1106	35
13	1139	1173	1206	1239	1271	1303	1335	1367	1399	1430	32
14	1461	1492	1523	1553	1584	1614	1644	1673	1703	1732	30
15	1761	1790	1818	1847	1875	1903	1931	1959	1987	2014	28
16	2041	2068	2095	2122	2148	2175	2201	2227	2253	2279	26
17	2304	2330	2355	2380	2405	2430	2455	2480	2504	2529	25
18	2553	2577	2601	2625	2648	2672	2695	2718	2742	2765	24
19	2788	2810	2833	2856	2878	2900	2923	2945	2967	2989	22
20	3010	3032	3054	3075	3096	3118	3139	3160	3181	3201	21
21	3222	3243	3263	3284	3304	3324	3345	3365	3385	3404	20
22	3424	3444	3464	3383	3502	3522	3541	3560	3579	3598	19
23	3617	3636	3655	3674	3692	3711	3729	3747	3766	3784	19
24	3802	3820	3838	3856	3874	3892	3909	3927	3945	3962	18
25	3979	3997	4014	4031	4048	4065	4082	4099	4116	4133	17
26	4150	4166	4183	4200	4216	4232	4249	4265	4281	4298	16
27	4314	4330	4346	4362	4378	4393	4409	4425	4440	4456	16
28	4472	4487	4502	4518	4533	4548	4564	4579	4594	4609	15
29	4624	4639	4654	4669	4683	4698	4713	4728	4742	4757	15
30	4771	4786	4800	4814	4829	4843	4857	4871	4886	4900	14
31	4914	4928	4942	4955	4969	4983	4997	5011	5024	5038	14
32	5051	5065	5079	5092	5105	5119	5132	5145	5159	5172	13
33	5185	5198	5211	5224	5237	5250	5263	5276	5289	5302	13
34	5315	5328	5340	5353	5366	5378	5391	5403	5416	5428	13
35	5441	5453	5465	5478	5490	5502	5514	5527	5539	5551	12
36	5563	5575	5587	5599	5611	5623	5635	5647	5658	5670	12
37	5682	5694	5705	5717	5729	5740	5752	5763	5775	5786	12
38	5798	5809	5821	5832	5843	5855	5866	5877	5888	5899	11
39	5911	5922	5933	5944	5955	5966	5977	5988	5999	6010	11
40	6021	6031	6042	6053	6064	6075	6085	6096	6107	6117	11
41	6128	6138	6149	6160	6170	6180	6191	6201	6212	6222	10
42	6232	6243	6253	6263	6274	6284	6294	6304	6314	6325	10
43	6335	6345	6355	6365	6375	6385	6395	6405	6415	6425	10
44	6435	6444	6454	6464	6474	6484	6493	6503	6513	6522	10
45	6532	6542	6551	6561	6571	6580	6590	6599	6609	6618	10
46	6628	6637	6646	6656	6665	6675	6684	6693	6702	6712	9
47	6721	6730	6739	6749	6758	6767	6776	6785	6794	6803	9
48	6812	6821	6830	6839	6848	6857	6866	6875	6884	6893	9
49	6902	6911	6920	6928	6937	6946	6955	6964	6972	6981	9
50	6990	6998	7007	7016	7024	7033	7042	7050	7059	7067	9
51	7076	7084	7093	7101	7110	7118	7126	7135	7143	7152	8
52	7160	7168	7177	7185	7193	7202	7210	7218	7226	7235	8
53	7243	7251	7259	7267	7275	7284	7292	7300	7308	7316	8
54	7324	7332	7340	7348	7356	7364	7372	7380	7388	7396	8
55	7404	7412	7419	7427	7435	7443	7451	7459	7466	7474	8
56	7482	7490	7497	7505	7513	7520	7528	7536	7543	7551	8
57	7559	7566	7574	7582	7589	7597	7604	7612	7619	7627	8
58	7634	7642	7649	7657	7664	7672	7679	7686	7694	7701	7
59	7709	7716	7723	7731	7738	7745	7752	7760	7767	7774	7
60	7782	7789	7796	7803	7810	7818	7825	7832	7839	7846	7
N.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Diff.

Logaritmai (tęsinys).

N.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Diff.
60	7782	7789	7796	7803	7810	7818	7825	7832	7839	7846	7
61	7853	7860	7868	7875	7882	7889	7896	7903	7910	7917	7
62	7924	7931	7938	7945	7952	7959	7966	7973	7980	7987	7
63	7993	8000	8007	8014	8021	8028	8035	8041	8048	8055	7
64	8062	8069	8075	8082	8089	8096	8102	8109	8116	8122	7
65	8129	8136	8142	8149	8156	8162	8169	8176	8182	8189	7
66	8195	8202	8209	8215	8222	8228	8235	8241	8248	8254	7
67	8261	8267	8274	8280	8287	8293	8299	8306	8312	8319	6
68	8325	8331	8338	8344	8351	8357	8363	8370	8376	8382	6
69	8388	8395	8401	8407	8414	8420	8426	8432	8439	8445	6
70	8451	8457	8463	8470	8476	8482	8488	8494	8500	8506	6
71	8513	8519	8525	8531	8537	8543	8549	8555	8561	8567	6
72	8573	8579	8585	8591	8597	8603	8609	8615	8621	8627	6
73	8633	8639	8645	8651	8657	8663	8669	8675	8681	8686	6
74	8692	8698	8704	8710	8716	8722	8727	8733	8739	8745	6
75	8751	8756	8762	8768	8774	8779	8785	8791	8797	8802	6
76	8808	8814	8820	8825	8831	8837	8842	8848	8854	8859	6
77	8865	8871	8876	8882	8887	8893	8899	8904	8910	8915	6
78	8921	8927	8932	8938	8943	8949	8954	8960	8965	8971	6
79	8976	8982	8987	8993	8998	9004	9009	9015	9020	9025	5
80	9031	9036	9042	9047	9053	9058	9063	9069	9074	9079	5
81	9085	9090	9096	9101	9106	9112	9117	9122	9128	9133	5
82	9138	9143	9149	9154	9159	9165	9170	9175	9180	9186	5
83	9191	9196	9201	9206	9212	9217	9222	9227	9232	9238	5
84	9243	9248	9253	9258	9263	9269	9274	9279	9284	9289	5
85	9294	9299	9304	9309	9315	9320	9325	9330	9335	9340	5
86	9345	9350	9355	9360	9365	9370	9375	9380	9385	9390	5
87	9395	9400	9405	9410	9415	9420	9425	9430	9435	9440	5
88	9445	9450	9455	9460	9465	9469	9474	9479	9484	9489	5
89	9494	9499	9504	9509	9513	9518	9523	9528	9533	9538	5
90	9542	9547	9552	9557	9562	9566	9571	9576	9581	9586	5
91	9590	9595	9600	9605	9609	9614	9619	9624	9628	9633	5
92	9638	9643	9647	9652	9657	9661	9666	9671	9675	9680	5
93	9685	9689	9694	9699	9703	9708	9713	9717	9722	9727	5
94	9731	9736	9741	9745	9750	9754	9759	9763	9768	9773	5
95	9777	9782	9786	9791	9795	9800	9805	9809	9814	9818	5
96	9823	9827	9832	9836	9841	9845	9850	9854	9859	9863	5
97	9868	9872	9877	9881	9886	9890	9894	9899	9903	9908	4
98	9912	9917	9921	9926	9930	9934	9939	9943	9948	9952	4
99	9956	9961	9965	9969	9974	9978	9983	9987	9991	9996	4
100	00000	0043	0087	0130	0173	0217	0260	0303	0346	0389	43
101	00432	0475	0518	0561	0604	0647	0689	0732	0775	0817	43
102	00860	0903	0945	0988	1030	1072	1115	1157	1199	1242	42
103	01284	1326	1368	1410	1452	1494	1536	1578	1620	1662	42
104	01703	1745	1787	1828	1870	1912	1953	1995	2036	2078	42
105	02119	2160	2202	2243	2284	2325	2366	2407	2449	2490	41
106	02531	2572	2612	2653	2694	2735	2776	2816	2857	2898	41
107	02938	2979	3019	3060	3100	3141	3181	3222	3262	3302	40
108	03342	3383	3423	3463	3503	3543	3583	3623	3663	3703	40
109	03743	3782	3822	3862	3902	3941	3981	4021	4060	4100	40
110	04139	4179	4218	4258	4297	4336	4376	4415	4454	4493	39
N.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Diff.

Lentelė 22. Trigonometriniai skaičiai

	Sinus		Tangens		Cotangens		Cosinus		
0°	0,0000	175	0,0000	175	∞		1,0000	02	90°
1	,0175	174	,0175	174	57,29		0,9999	04	89
2	,0349	174	,0349	175	28,64		,9994	08	88
3	,0523	175	,0524	175	19,08		,9986	10	87
4	,0698	174	,0699	176	14,30		,9976	14	86
5	,0872	173	,0875	176	11,43		,9962	17	85
6	,1045	174	,1051	177	9,514		,9945	20	84
7	,1219	173	,1228	177	8,144		,9925	22	83
8	,1392	172	,1405	179	7,115	801	,9903	26	82
9	,1564	172	,1584	179	6,314	643	,9877	29	81
10	,1736	172	,1763	181	5,671	526	,9848	32	80
11	,1908	171	,1944	182	5,145	440	,9816	35	79
12	,2079	171	,2126	183	4,705	374	,9781	37	78
13	,2250	169	,2309	184	4,331	320	,9744	41	77
14	,2419	169	,2493	186	4,011	279	,9703	44	76
15	,2588	168	,2679	188	3,732	245	,9659	46	75
16	,2756	168	,2867	190	3,487	216	,9613	50	74
17	,2924	166	,3057	192	3,271	193	,9563	52	73
18	,3090	166	,3249	194	3,078	174	,9511	56	72
19	,3256	164	,3443	197	2,904	157	,9455	58	71
20	,3420	164	,3640	199	2,747	142	,9397	61	70
21	,3584	162	,3839	201	2,605	130	,9336	64	69
22	,3746	161	,4040	205	2,475	119	,9272	67	68
23	,3907	160	,4245	207	2,356	110	,9205	70	67
24	,4067	159	,4452	211	2,246	101	,9135	72	66
25	,4226	158	,4663	214	2,145	95	,9063	75	65
26	,4384	156	,4877	218	2,050	87	,8988	78	64
27	,4540	155	,5095	222	1,963	82	,8910	81	63
28	,4695	153	,5317	226	1,881	77	,8829	83	62
29	,4848	152	,5543	231	1,804	72	,8746	86	61
30	,5000	150	,5774	235	1,732	68	,8660	88	60
31	,5150	149	,6009	240	1,664	64	,8572	92	59
32	,5299	147	,6249	245	1,600	60	,8480	93	58
33	,5446	146	,6494	251	1,540	57	,8387	97	57
34	,5592	144	,6745	257	1,483	55	,8290	98	56
35	,5736	142	,7002	263	1,428	52	,8192	102	55
36	,5878	140	,7265	271	1,376	49	,8090	104	54
37	,6018	139	,7536	277	1,327	47	,7986	106	53
38	,6157	136	,7813	285	1,280	45	,7880	109	52
39	,6293	135	,8098	293	1,235	43	,7771	111	51
40	,6428	133	,8391	302	1,192	42	,7660	113	50
41	,6561	130	,8693	311	1,150	39	,7547	116	49
42	,6691	129	,9004	321	1,111	39	,7431	117	48
43	,6820	127	,9325	332	1,072	36	,7314	121	47
44	,6947	124	,9657	343	1,036	36	,7193	122	46
45	,7071		1,0000		1,000		,7071		45
	Cosinus		Cotangens		Tangens		Sinus		

Dalykų rodiklis

A

Aberacija sferinė 143
„ chromatinė 143
absoliutinė vienetų sistema 16
adiabatinė atmaina 112
amperas (A) 18
ampermetras 153
„ šiliminis 155
ampulė 89
analizatorius 148
angstremas (A) 16, 145
anodinė srovė 207
„ „ įsotinta 207
areometras, pastovaus tūrio 43
aritmetiškas vidurkis 11
arklio jėga (Ph) 68
Arrheniuso aparatas 77
atmosfera (ata) 17
atominis svoris 85
atskaitymai, veidrodiniai 30
atšaka 174
Atwood'o mašina 50
Augusto psichrometras 124
Avogadro taisyklė 85

B

Balistinis galvanometras 176
„ galvanometro konstanta 177
bangos ilgis 93
baras 17, 81
barometras 81
„ sifoninis 81
barometro aukštis 81
„ aukščio pataisos .. 82, 83
biuretė 28
Boyle - Mariotte'o dėsnis 78
Boyle - Mariotte'o dėsnio tikrinimas 79
Boyle - Mariotte'o - Gay - Lussac'o dėsnis 104
Brodhun-Lummer'io fotometras 129

C

CGS sistema 16
Cp 94, 112
Cv 94, 112
Cp/Cv 95, 112
charakteristika 209
charakteristikos kreivė 209
„ kreivės staiga .. 210
Celsius'o skala 98
centimetras 16
Clement - Desormes'o būdas .. 112

D

Darbas 64
darbo vienetai 17, 64
dažnumas 193
„ ciklinis 194
dešinės rankos taisyklė 167
diafragma 143
didinimas optikos prietaisų, absoliutinis 138
didinimas optikos prietaisų, geometrinis 138
didinimas optikos prietaisų, tikrasis 138
didinimas, mikroskopo paprasto 138
didinimas, mikroskopo sudėtinio 139
didinimas teleskopo 139
didysis židinys 135

didžiojo židinio nuotolis 135
dimensija 16
dina 17
diodas 206
dioptrija 137
dujų tankis absoliutinis 85
„ „ lyginamasis 85
dvigubas lūžimas 147
džiaulis (J) 17

E

Ekstra ordinarinis spindulys .. 148
elastingumas 57
elastingumo koeficientas 57
„ konstantos 214
„ modulis 57
„ riba 57
elektrinė varža 158
„ laida 158, 159
„ „ skysčių 165
elektrocheminis ekvivalentas .. 179
elektromagnetinis el. sr. jėgos vienetas 169
elektromagnetinė indukcija 199
„ indukcijos koeficientas 199
elektromagnetinė indukcija savoji 200, 201
elektromagnetinė indukcija tarpinė 200, 202
elektromagnetinės indukcijos vienetai 200
elektroninis vamzdelis 206
elektroninio vamzdelio varža .. 208
elektronas 206
elektros energija 18
„ energijos vienetai .. 18, 187
„ lempa 191
„ lempos ekonomingumas 192
„ srovės plokštuma 199
„ šiliminis ekvivalentas .. 187
„ talpa 204
„ talpos vienetai 204
„ varomoji jėga 199
elektrostatinis elektros kiekio vienetas 17
elektrostatinis elektros potencialų skirtumo vienetas 17
elemento vidaus varža 183
erdvės krovinys 206
ergas 17
eudiometras 90

F

Fahrenheit'o skala 98
Faraday'aus dėsniai 179
faradas (F) 204
faradejus 17
fazė 194
fazės postūmis 195
fotometras 129

G

g. 49
galas 17
galia 17, 64
galios vienetai 17, 64
galvanometras 173
galvanometro jautrumas 174
„ statinė konstanta 174
„ balistinė 177
garinimo naudos koeficientas .. 190
garso stovimosios oro bangos .. 93
„ greitis kietuose kūnuose .. 92
„ „ dujose 94
garų tankis absoliutinis 85
„ „ lyginamasis 85
Gay - Lussac'o - Boyle - Mariotte'o dėsnis 104
gausas (elmg. v) 169
Geissler'io vamzdelis 146
gramas 16
gramo molekula 89
greitėjimas 17
greitėjimo vienetas 17
greitis 17
greičio vienetai 17
„ gradientas 76
goniometras 131

H

Harmoningas svyravimas 193
H-dedamoji 170, 172
Hefner'io žvakė 129

henris 200
higrometrinė lentelė 221
hipsometras 84

I

Iks (x) vienetas 16, 145
indelio talpa 165
inercijos momentas 53
„ momento nustatymas iš svyravimų 54, 55
inercijos momentas žiedo 56
„ „ cilindro .. 54, 63
„ „ stiebo 61
interferencija 150
inversijos temperatūra 185
izoterminė atmaina 113
jėgos momentas 53
jėgos vienetai 17
Jolly svarstyklės 46
„ svarstyklių konstanta .. 46
Joule'o šilima 187
Young'o modulis 57
judėjimo dėsniai, tolidiniai greitėjamo 50

K

Kaloriferis 111
kalorija 17
kalorimetras 108
kalorimetro temperatūrų pataisa 125
kamertonas 90
kamertono virpėjimų skaičiaus nustatymas 91
kapiliaringumas 69
kapiliarinė jėga 72
„ depresija 83
„ konstanta 70, 72
katetometras 24
keltuvas 52
kilovatas (kW) 18
kilovatas - valanda (kWh) 18
kilogramas (kg) 17
kilogramas - metras (kgm) 17
kilometras (km) 16
kilovoltas (kV) 18
kintamoji elektros srovė 193
kintamosios elektros srovės galia 196
kintamosios elektros srovės jėga 194
kintamajai elektros srovei varža 195
kintamas potencialų skirtumas . 194
Kirchhoff'o dėsniai 159, 160
klaida sisteminė 9
„ atsitiktinė 9, 10
„ vienkartinio atskaitymo 10
„ daugkartinio „ 11
„ lyginamoji 11
„ procentinė 11
„ rezultato vidutinė 11
„ atskaitymų vidutinė 11
„ tikimoji 11
klaidos skaičiavimo būdai, aritmetinis 12
klaidos skaičiavimo būdai, analizinis 12
klaida apytikslių skaičių sumos, 12
„ „ „ skirtumo 12
„ „ „ sandaugos 12
klaida apytikslių skaičių dalmens 12
„ „ „ laipsnio 12
„ „ „ šaknies 12
klampumas skysčių 75
klampio modulis 76
koherentinė šviesa 150
kolimatorius 131, 145
komparatorius 25
kompensacijos būdas 180
„ aparatas 181
kondensatoriaus talpa 204, 206
kritimo dėsniai 50
kulonas 17
Kundt'o figūra 93, 94
„ vamzdis 92, 94
kūno pusiausvyra 52
kvadratinis centimetras (cm^2) .. 16
„ metras (m^2) 16
kūbinis centimetras (cm^3) 17
„ metras (m^3) 17

L

Litras 17, 26
lygis 26
lyginamasis svoris 42
„ tankis 85

lyginamoji oro drėgmė 123
lygiagrečiai sujungtų laidų el. varža 157, 162
lygiagrečiai sujungtų kondensatorių talpa 206
liuksas 129
logaritminis dekrementas 176
lūžio rodiklis 133
„ rodiklio nustatymas .. 133, 140

M

Magnetinis laukas 167
„ meridianas 170
„ sriautas 199
matavimų būdas tiesioginis 9
„ „ netiesioginis .. 9
„ „ nulinis 10
matymo kampas 137
matuoklė 21
mechaninės energijos vienetai .. 189
mechaninis šilimos ekvivalentas 188
Meyer'io V aparatas 87
menzuzė 26
metras (m) 16
metronomas 29
mikroamperas (μA) 18
mikrofaradas (μF) 204
mikrometras 22
mikronas (μ) 16, 145
miliamperas (mA) 18
milibaras (mb) 17, 82
milimetras (mm) 16
milikronas ($m\mu$) 16, 145
minimum atlenkimo kampas .. 133
Mohr'o Westphal'io svarstyklės 45
molekulinis svoris 85
monochromatinė šviesa 151

N

Naudos koeficientas mašinos .. 68
„ „ šildymo : 122
„ „ garinimo : 190
nepaprastas spindulys 148
Newton'o vėsimo dėsnis 126
„ žiedai 151
Nicol'io prizma 147
nikoliai 148
nonijus 19
„ kampams matuoti 20
nulinis termometro taškas 100
nušvietimo jėgos dėsnis 129
„ sferinis 130
nuosekliai sujungtų laidų el. varža 162
nuosekliai sujungtų elementų potencialų skirtumas 183
nuosekliai sujungtų kondensatorių talpa 206

O

Ohm'o dėsnis 162
omas (Ω) 18, 159
optikos suolas 136
„ (optinė) ašis 147
optiškai aktingi kūnai 148
oro drėgmė, absoliutinė 123
„ „ lyginamoji 123
„ absoliutinis tankis 87

P

Pamatiniai termometro taškai : 98
pamatinis piūvis 147
Papino katilas 120
paprastas spindulys 148
paralaksas 31, 99
paviršiaus įtempimas 69
paviršiaus įtempimo konstanta 70
periodas 28, 54, 67
peršaldytas būvis 119
piknometras 42, 102
pipetė 27, 75
Poiseulle'o būdas 76
poliarizacija šviesos 147
poliarizacijos plokštuma 147
„ plokštumos sukimas 148
poliarizacijos plokštumos specifinis sukimas 148
poliarizatorius 148
poliarimetras 148
potenciometras 181
Prony tyrimas 67
pusiausvyra, standaus kūno 52

R

Radijo vamzdelis 206
Réaumur'o skala 18
reikšmė, davinio 11
rezultato skaitmenų skaičius 12

S

Sekundė 16
sekundinis laikrodis 29
sekundinė svyruoklė 28
sferometras 22
sferometro tikslumas 23
sinusinė kreivė 91
skala, veidrodinė 31
skėtimosi koeficientas tūrio 101
„ „ skysčių 101, 103, 104
„ „ dujų 105—107
„ „ tikrasis .. 101
skystėjimo temperatūra 119
skvarba 210
slaptoji skystėjimo šilima 114
„ garavimo šilima 115
slėgimo vienetai 17
slopinamo svyravimo periodas .. 176
slopinimo santykis 176
solenoido savoji indukcija 200
„ magnetinis laukas 169
sonometras 96
specifinė masė 42
„ šilima 108
„ „ kietų kūnų .. 109
„ „ skysčių 110
„ „ dujų 112
„ varža 158, 162
„ laida 158
spektras, vientisinis 144
„ linijinis 144
„ juostų 145
„ absorbcijos 145
spektrinė analizė 146
spektroskopas 145
spektroskopo skalos įvertinimas 146
spektrografas 145
spyruoklės konstanta 47
statinė galvanometro konstanta 174
stygų virpėjimo dėsnis 96, 97
sukamasis modulis 62
susisiekiamieji indai 103
svarstyklės, lygių pečių 31
„ Jolly, ... 46
„ Mohr'o Westphal'io 45
svarstyklių jautrumas 33
„ tikslumas 32
svėrimas 35
svėrimo taisyklės 38
„ pataisa 39
svyravimo periodas 28, 54
„ laikas 28
svoris kūno matomasis 39
„ „ tikrasis 39

Š

Šildymo prietaisas 108
šiliminės konstantos 219, 220
šilimos talpa 108
šiliminė laida 219
šimtinis termometro taškas 100
špūlių tarpinė indukcija 200, 201
šuntas 156
šviesos bangų ilgiai 222

T

Tachometras 68
tankis 42
tangens - galvanometras 169
teleskopo didinimas 142
temperatūrinis varžos koeficientas 164
termoelektros varomoji jėga 184
termoelementas 184
termoelektros srovė 184
termometras, Beckmann'o 99
„ skysčių 98
„ dujų 107
termometro parodymų pataisa 99, 100
tinklelis, triodo 207
tinklelio srovė 210
tirpalų elektrinė laida 223
tona 17
trintis 64

trinties koeficientas šliaužiančių kūnų 64
trinties koeficientas riedančių kūnų 64
trinties statinis koeficientas 66
„ dinaminis koeficientas .. 66
triodas 209

V

Vandeninė kūno vertė 108
vatas (W) 17
vatas - sekundė (W sek) 18
veberis 169
vidaus trintis, skysčių 75
„ trinties koeficientas 76
veidrodinė skala 31, 99
virimo temperatūra 120
„ temperatūros pareinamybė nuo slėgimo 120
voltas (V) 18
voltametras 179
voltmetras 155

W

Weinhold'o aparatas 78
Wheatstone'o tiltas 159

Pastebėtos klaidos

Puslap.	Eilutė skaitant iš viršaus	Išspausdinta:	Turi būti:
47	5	indėliui	indeliui
47	24	indėliu	indeliu
48	14	$\pm$ 0,13	$\pm$ 0,02
76	19	slėgmui	slėgimui
97	1	žiogliu	žiogeliu
97	17	Išskaičioujame	Išskaičiuojame
105	30	išsiskėčia	išsiskečia
112	22	atitinkami	atitinkamai
116	12	indėlis	indelis
131	1	kirstalų	kristalų
135	19	lygiašonis	lygiakraštis
136	27	lėšio	lęšio
139	2	lęšio	lęšiu
139	8	vienos	vienas
139	19	akuliaro	okuliaro
140	25	rodykliui	rodikliui
145	26	(x; 1x=10^{-11} cm)	(X; 1X=10^{-11} cm).
149	4	nunušviestas	nušviestas
169	18	Surandamė,	Surandama
200	7	centimtras	centimetras
203	9	elekros	elektros
211	4	V^A	V_A